



Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i
Aeroespacial de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TREBALL DE FI DE CARRERA

TÍTOL DEL PFG: Característiques constructives d'un túnel de vent de baix-cost per a aplicació local

TITULACIÓ: Enginyeria Tècnica Aeronàutica, especialitat Aeronavegació

AUTORS: Joel Villa Farías

DIRECTOR: Joshua Tristancho Martínez

DATA: 13 de Octubre de 2014

Título: Características constructivas de un túnel de viento de bajo-coste para aplicación local

Autor: Joel Villa Farías

Director: Joshua Trisancho Martínez

Fecha: 13 de Octubre de 2014

Resumen

Los túneles de viento han sido utilizados extensamente en los últimos 50 años en industria e investigación. La temática de este proyecto se ha escogido ante el deseo de construir en Zaragoza algún tipo de dispositivo relacionado con la aeronáutica. Un túnel de viento de este tipo es de fácil construcción que, una vez finalizado, será una herramienta útil y eficaz.

Tras presentar las distintas posibilidades de configuraciones de los túneles de viento se determinará las incógnitas que nos hará inclinarnos por unas u otras configuraciones. En el caso de la industria, esta elección vendría dada por las características y necesidades del estudio sobre el objeto a desarrollar a parte de la rentabilidad que supondría la construcción de un túnel de viento. Pero en el caso de que lleva a realizar este trabajo, el objeto a desarrollar y de estudio en un primer momento es el propio túnel de viento. Las incógnitas son: el espacio disponible para albergar el túnel, la complejidad que se desea dar a este y el presupuesto económico disponible para su construcción. Otra incógnita sería el objeto que se estudiara en el interior del túnel, aunque este previsiblemente se adaptara a las resoluciones de las incógnitas anteriores.

En el trabajo se incluirá un estudio de mercado de rentabilidad de un supuesto túnel de viento para la zona de Zaragoza así de los posibles usuarios de dichas instalaciones.

Palabras clave: Túnel de viento, diseño low-cost, Zaragoza, Modelo de negocio

Title: Manufacturing characteristics of a low-cost wind-tunnel for local application

Author: Joel Villa Farías

Director: Joshua Tristancho Martínez

Date: October, 13th 2014

Overview

Wind tunnels have been used widely in the past 50 years in industry and research. The theme of this project has been chosen before the desire to build some kind of aeronautics-related device in Zaragoza. A wind of this type tunnel is easy construction which, once finalized, will be a useful and effective tool.

After presenting the different possibilities of configurations of wind tunnels will be determined the unknowns that will make us lean by some or other configurations. In the case of industry, this election would be given the characteristics and needs of the study on the object to develop part of the profitability that would involve the construction of a wind tunnel. But in the case that leads to carry out this work, the object to develop and study at first is own wind tunnel. The unknowns are: the space available to accommodate the tunnel, the complexity that you want to give to this and the budget available for their construction. Another question would be the subject that is studied in the inside of the tunnel, although this probably adapts itself to the resolutions of the previous unknowns.

Work will include a market study of the profitability of a so-called wind tunnel for the area of Zaragoza as well of the potential users of these facilities.

Keywords: Wind tunnel, Low-cost design, Zaragoza, Business model

INDEX

ACRÓNIMOS, ABREVIACIONES Y DEFINICIONES	13
INTRODUCTION.....	15
CHAPTER 1. ESTADO DEL ARTE	17
1.1 Tipos de túneles de viento.....	17
1.2 Tipos de sensores	18
1.3 Túneles parecidos en la zona.....	25
1.3.1 Túnel ACLA 16	25
1.3.2 Túnel A9.....	25
1.3.3 Túnel A4C	26
1.3.4 Wind Tunning 40-4kW	26
1.4 Resumen de características de los tipos	27
CHAPTER 2. CONDICIONES DE DISEÑO	29
2.1 El ventilador.....	29
2.2 La cámara de ensayo.....	32
2.3 La balanza.....	34
2.4 Maquina de humo	37
CHAPTER 3. DISEÑO DEL TÚNEL DE VIENTO	39
3.1 Lista de requerimientos	39
3.2 Diseño de la forma del túnel de viento	40
3.3 Calibración de la simulación	44
3.4 Simulación de las condiciones del túnel de viento.....	46
CHAPTER 4. PRESUPUESTOS DEL TÚNEL DE VIENTO.....	49
4.1 Costes de los materiales.....	49
4.2 Presupuesto de potencia	53
4.3 Planificación	54
4.4 Memoria de fabricación.....	57
CHAPTER 5. ESPECIFICACIONES DEL TÚNEL DE VIENTO.....	75
5.1 Especificaciones técnicas	75

5.2	Diseño del manual de usuario	77
5.3	Ensayos para la calibración del túnel de viento.....	78
5.4	Ensayos tipo.....	80
CHAPTER 6. CONCLUSIONS.....		81
6.1	Conclusiones generales.....	81
6.2	Conclusiones.....	81
6.3	Trabajo futuro.....	83
6.4	Estudio de impacto medioambiental	86
BIBLIOGRAPHY.....		88

LIST OF FIGURES

Figura 1 – Ventilador HC-50-6T/H.....	31
Figura 2 – Balance de fuerzas y momentos del objeto a ensayar	35
Figura 3 – Esquema del caudal, secciones y velocidades	40
Figura 4 – Los tres modelos de cono de aceleración junto a su estabilizador, cámara de ensayo y difusor en la derecha de la imagen.	42
Figura 5 – Simulaciones de un mismo perfil en 3, 6 y 10 grados	45
Figura 6 – Simulaciones de un perfil de ala principal de un Boeing 737 a 11 m/s a diferentes escalas que llegan a bloquear el túnel e viento	47
Figura 7 – Molde para el túnel de viento	59
Figura 8 – Estabilizador del túnel de viento.....	61
Figura 9 – Difusor del túnel de viento.....	62
Figura 10 – Cuerpo del túnel de viento	65
Figura 11 – Cámara del túnel de viento	70
Figura 12 – Máquina de humo del túnel de viento.....	72
Figura 13 – Túnel de viento en su estructura móvil.....	75
Figura 14 – Diferentes mediciones en el túnel de viento.....	79

LIST OF TABLES

Table 1 – Methodologies summary	27
---------------------------------------	----

Agradecimientos

A mi madre y a mi hermana por su apoyo constante, y a mi padre a parte por hacerme más fácil el día a día estos últimos meses.

A Modesto por ese empujón necesario al principio de todo proyecto.

A todos aquellos que, aunque solo por un momento, creyeron en mí.

Trademarks

Sodeca

Arduino

BHL

Bosch

Catia

Profili v2

Excel

Word

Powtech

Fernell

Segundamano.es

ACRÓNIMOS, ABREVIACIONES Y DEFINICIONES

Plug and play : Conectar y ejecutar.

CFD: Computational Fluids Dynamics, Dinámica de fluidos computacionales.

CFC : Clorofluorocarburos

RTD : Resistance temperature detector

PTC: Sensor resistivo

NTC :Sensor resistivo

INTRODUCTION

Las investigaciones aerodinámicas son una parte fundamental en el desarrollo de un producto que va a estar en unas condiciones en las que los flujos de aire sean condicionantes de su buen funcionamiento.

Ante la escasa existencia de túneles de viento que puedan realizar estudios de desarrollo de proyectos de estudiantes se decide fabricar uno para su posterior utilización.

En Zaragoza existe un túnel en la universidad de la ciudad al que solo tienen acceso algunos pocos estudiantes. De este túnel no se ha podido obtener información.

El túnel de viento tendrá un carácter low-cost y se pretende fabricar por parte nuestra la mayor parte de él.

Objetivos

Objetivos principales

- Estudiar el estado del arte de los túneles de viento y en especial túneles parecidos en la zona
- Definir las características que el túnel de viento va a reunir
- Diseñar un túnel de viento adecuado a la lista de requerimientos
- Simular el túnel de viento en condiciones lo más real posible así como un ensayo tipo para usarlo para calibrar las simulaciones
- Hacer un estudio de mercado de aplicación de este túnel de viento así como los presupuestos de costes, potencias, medidas de seguridad, etc.

Objetivos secundarios

- Fabricar el túnel de viento
- Hacer ensayos con el túnel de viento para ver los resultados y obtener las especificaciones técnicas
- Fabricar un experimento tipo para el manual de usuario

Distribución de los capítulos

En el primer capítulo haremos una introducción al tema de los túneles de viento. En esta introducción se establecerán las bases de lo que se entiende por túnel de viento, su funcionamiento y las distintas variables que puede presentar dependiendo de la función que desempeñe y las condiciones de su construcción. Así mismo se presentarán los distintos instrumentos que se utilizarán para realizar las mediciones correspondientes. Por último se hará una referencia a los distintos túneles existentes en la zona y algunas características de los mismos.

En el segundo capítulo se presentaran los distintos elementos fundamentales que conforman el túnel de viento. Estos elementos son los que realizan las funciones que hacen del túnel de viento una herramienta de estudio. Estos elementos, ya sean de producción, conducción o medición del aire tienen que tener unas características que nos permitan realizar los estudios que predeterminemos.

En el tercer capítulo se expondrá un estudio físico sobre la conducción del aire y su posterior diseño, simulación y calibración. Este capítulo es de vital importancia para corroborar el buen funcionamiento del túnel.

En el cuarto capítulo se hará el recuento de los recursos económicos que se han empleado para después explicar el proceso de fabricación del túnel prestando atención en el planning seguido.

En el quinto capítulo se presentaran diferentes documentos que complementaran la información del túnel de viento y los resultados de los estudios realizados con él.

En el capítulo de las conclusiones se repasaran los puntos del trabajo relevantes para la comprensión del trabajo realizado así como si el análisis del cumplimiento de los objetivos marcados al comienzo del proyecto.

Plan de trabajo del estudiante

Este trabajo consiste en un mínimo de 360 horas realizadas por el estudiante. Se ha realizado una reunión semanal con el tutor normalmente por Skype debido a la distancia. También se han usado herramientas como Microsoft WORD como el principal procesador de textos y el Microsoft EXCEL como la herramienta de cálculo y estadística más usada. Las tareas realizadas a lo largo de este periodo se detallan a continuación.

CHAPTER 1. ESTADO DEL ARTE

En el primer capítulo haremos una introducción al tema de los túneles de viento. En esta introducción se establecerán las bases de lo que se entiende por túnel de viento, su funcionamiento y las distintas variables que puede presentar dependiendo de la función que desempeñe y las condiciones de su construcción. Así mismo se presentaran los distintos instrumentos que se utilizaran para realizar las mediciones correspondientes. Por último se hará una referencia a los distintos túneles existentes en la zona y algunas características de los mismos.

1.1 Tipos de túneles de viento

Dependiendo del objeto del estudio que se va a realizar con el túnel de viento, el espacio disponible, las condiciones necesarias para el estudio y la disponibilidad económica, se utilizara un túnel de viento con unas configuraciones y dimensiones determinadas. Tanto en esta clasificación como en el resto del documento suponemos un régimen del flujo subsónico, de lo contrario se tendría que hacer una clasificación de la velocidad del flujo con respecto a la del sonido. De manera general se pueden diferenciar tres pares de tipos de configuraciones:

- **Abierto o cerrado:** Esta disyunción en la configuración se resuelve teniendo en cuenta las condiciones necesarias para el estudio, el espacio disponible para albergar el túnel y el presupuesto económico disponible para del estudio.

En el caso de la configuración de túnel de circuito cerrado permite realizar el estudio con unas condiciones termodinámicas estables, aunque repercute económicamente al requerir un túnel más complejo y que ocupa mayor espacio que uno de configuración abierta.

El de configuración abierta, pues, no tendrá la posibilidad de tener un control sobre las condiciones termodinámicas tan preciso, pero tendrá un coste económico menor y ocupara menos espacio.

Otro aspecto a tener en cuenta en la elección de este tipo de configuración son las pérdidas, en el caso de la configuración cerrada las pérdidas son notablemente menores comparadas con las de la configuración abierta.

- **Cámara de ensayos abierta o cerrada:** Como se comentaba en el punto anterior, el caso de configuración cerrada es más eficiente estudiando sus pérdidas. El motivo de la elección de una cámara de ensayos abierta suele ser por las dimensiones del objeto de estudio, que son demasiado altas como para albergarlo dentro de un túnel. La configuración de cámara de ensayos abierta se suele utilizar con la configuración de soplado, que se explica en el siguiente punto.

- **Soplado o aspirado:** Como se comentó en el apartado del funcionamiento del túnel, el ventilador puede estar situado antes de la cámara de estudio o después de esta. En el caso de la configuración de soplado el ventilador esta antes de la cámara, y en el de aspirado, esta después. La diferencia de ambas configuraciones es la velocidad del flujo que llega a la cámara, en el soplado es mayor que en el aspirado. Otra diferencia es la uniformidad del flujo, ya que en el soplado el flujo no presenta la laminidad que se puede presentar en el aspirado.

1.2 Tipos de sensores

Para realizar un estudio con el túnel de viento como herramienta tenemos que conocer en las condiciones a las que se expone el objeto de estudio en su interior.

Para ello necesitaremos dispositivos que nos permitan conocer parámetros como la presión o la temperatura y su variación a lo largo del tiempo. Este trabajo lo realizan los sensores, parte fundamental e indispensable en el proyecto de construcción de un túnel de viento. Los sensores, aparte de conocer las condiciones ambientales, nos permiten también conocer como estas condiciones afectan al objeto de estudio.

Los sensores que presumiblemente se utilizaran en este proyecto son aquellos que transformen las magnitudes físicas en una señal eléctrica analógica para luego, según el caso, transformarlo en una señal digital. Con esta forma de recepción de datos se facilitara la lectura de estos y su posterior utilización.

Las especificaciones de los sensores no tienen que dar como resultado un sensor de altas prestaciones. Se requieren sensores que cubran un mínimo de necesidades dependiendo de las funciones que se necesiten. Por ello se tiene que prefijar las necesidades que se requieran para la medición de cada una de las magnitudes.

La adquisición de los datos de los sensores se realizaran con placas de Arduino, por ello los sensores se tendrán que adaptar a las los voltajes y al tipo de transmisión y recepción de los datos.

El precio de los sensores es otro concepto a tener en cuenta, ya que este se trata de un proyecto low-cost. Esto no quiere decir que la prioridad sea hacer el mínimo gasto posible, si no que dentro del abanico de posibles sensores que cubran las necesidades mínimas, se elegirá, no el más barato, pero si uno que resulte económico.

A continuación se presentan los diferentes tipos de sensores según la magnitud que miden y sus variantes según la forma de medición.

Sensores de Temperatura

La temperatura es otra de las variables que integran la ecuación de Bernoulli y, por lo tanto, conocer su valor en las diferentes secciones del túnel de viento completaría el estudio de la continuidad de la ecuación.

La temperatura se define como la medida promedio de energía cinética de las partículas en una unidad de masa.

Para la medida de la temperatura utilizamos sensores que captan la energía cinética y la convierten en una señal eléctrica a la que se le asigna un valor.

El rango de temperaturas en las que el aire circula en el interior del túnel variara dependiendo de la temperatura exterior. La temperatura en el interior del túnel, estando este en funcionamiento será siempre menor a la exterior. Previsiblemente el túnel trabajara en espacios controlados, donde la temperatura ambiente rondara los 20 grados centígrados. Se prevé que, atendiendo a la velocidad del aire que se puede alcanzar en el interior del túnel, el rango de temperaturas sea de alrededor de una decena de grados menos que la temperatura ambiente.

Existen tres grandes grupos de sensores de temperatura. Estos grupos están integrados por los termopares, sensores RTD y termistores.

El principio de los termopares es el llamado efecto Seebeck. Este efecto denomina a la diferencia de potencial eléctrico existente en la unión de dos metales distintos, y que varía según la temperatura exterior a la que estén sometidos. Los distintos metales se encuentran en el interior del sensor en forma de hilo y conectados entre sí en un punto. La diferencia en el calor específico de cada uno de los metales hace que a uno se le denomine punto o unión caliente o de medida y al otro punto o unión fría o de referencia. Existen diversos tipos de termopares dependiendo del par de metales que se utilicen. Unos ejemplos pueden ser los formados por níquel-cromo, hierro-constantan o platino-rodio. Cada uno de estos sensores tendrían diferentes aplicaciones al variar el rango de temperaturas que pueden medir y la sensibilidad a la que se realizan, también varia el coste económico que implica adquirirlos.

Los metales que forman la parte dinámica de los termopares suelen estar encapsulados con una vaina metálica. Esto les permite no estar en contacto directo con la fuente de calor.

Estos tipos de sensores resultan precisos, relativamente económicos y posibilitan, dependiendo de los metales elegidos, trabajar en un amplio rango de temperaturas. Es por todo esto que su uso está muy extendido.

El principio de los sensores RTD (Resistance Temperature Detector) está basado en la variación de la resistencia eléctrica que ofrece un conductor a causa de la temperatura a la que se expone.

Al aumentar la temperatura, aumenta la resistencia; y a la inversa, cuando disminuye la temperatura, disminuye la resistencia eléctrica. Los conductores empleados usualmente son el platino, el cobre, el níquel y el molibdeno.

Dependiendo del rango de temperaturas al que se someta el sensor la velocidad de la respuesta requerida, la linealidad y la sensibilidad se optara por uno u otro metal.

Los sensores RTDs presentan facilidad a la hora de conectarlos al circuito del cual se obtendrá la temperatura, aparte de presentar una sensibilidad mayor que la de los termopares. La parte negativa de este sensor es que suele resultar menos económico que el resto de los sensores.

El principio de los termistores es igual que el de los RTDs. La diferencia reside en el tipo de material utilizado, en este caso, un semiconductor.

Existen dos tipos de termistores: los PTC y los NTC. Los primeros se comportan como los sensores RTDs; mientras que los NTC, por el contrario, al aumentar la temperatura, disminuye la resistencia que ofrece ante una corriente eléctrica.

Finalmente se ha optado por utilizar los termistores PTC que, al ser muy utilizados en el ámbito comercial, tienen desarrolladas muchas aplicaciones, por ello también presentan un precio tan económico.

Se ha decidido utilizar el DS18B20, un sensor con salida digital de 9 a 12 bits de resolución y que cubre las necesidades de nuestro proyecto.

A. Tipo de sensores de presión

Esta deformación se produce sobre un conductor eléctrico. La tracción sobre este conductor aumenta la resistencia al aumentar la longitud y disminuir la sección

La compresión del conductor provoca el efecto contrario. El conductor se monta, en la mayoría de los casos, sobre una membrana, la cual está sometida a una presión.

La deformación de la membrana se produce de manera controlada al estar estudiado este efecto con anterioridad. Los conductores, cintas extensiométricas, se montan por pares, a partes iguales entre zonas de la membrana que se dilatan y las que se comprimen. Para realizar la medición de los resultados de las cintas extensiométricas se conectan a un puente de Weathstone.

B. Tipo de sensores piezoresistivos

El principio de medida de los sensores piezoresistivos es parecido al de los resistivos, residiendo la diferencia en la utilización de semiconductores en vez de conductores metálicos. En el caso anterior como en este la resistencia es proporcional a la deformación, solo que en este caso el factor es de 10 a 100 veces mayor. Los semiconductores a diferencia de los conductores se integran en la membrana, forma parte de ella, y no colocándose sobre ella. Hay casos en los que el material de esta membrana no presenta la suficiente resistencia a

la presión, por lo que se necesita transmitir de forma indirecta la presión encapsulando el chip y utilizando aceite o una membrana metálica como medio transmisor. Este tipo de sensores tienen una capacidad de aplicación para presiones bajas, aunque la sensibilidad a la temperatura requiere una compensación de la deriva de la señal para no variar el resultado de la medición.

C. Tipo de sensores capacitivos

El principio de los sensores capacitivos está basado en la variación de la capacidad de un condensador en función de la distancia entre una placa fija y otra móvil.

Esta última placa es la que tiene la función de la membrana, desplazándose en función de la presión. Cuando la presión aumenta se reduce la distancia entre las placas y esto produce un aumento de la capacidad del condensador. Este tipo de sensores permite una medición con una alta sensibilidad y rangos de medición muy bajos.

D. Tipo de sensores piezoeléctricos

El principio de los sensores piezoeléctricos está basado en las propiedades de algunos cristales no conductivos, como el cuarzo, cuando se les aplica una presión que las comprime. Al comprimirse, estos cristales producen una polarización eléctrica en las superficies opuestas sobre las que se aplica la fuerza. Esta polarización se produce debido a la descolocación de la estructura cristalina debido a la presión ejercida y el resultante momento dipolar creado. La intensidad de la carga es proporcional a la presión ejercida, y la polarización a la dirección de esta. La tensión eléctrica generada puede captarse y amplificarla para utilizarla como resultado de la medición del sensor. Este tipo de sensores es únicamente válido para presiones dinámicas.

De los cuatro tipos de sensores se ha optado por el tipo de sensores piezoresistivos. Uno de los factores que han intervenido en la decisión, es que se trata de uno de los tipos de sensores de presión mas comercial y, por lo tanto, más fácil de encontrar puntos de venta que lo suministren y proyecto que se han desarrollado con él.

Este tipo de sensores es utilizado en diversas aplicaciones, tanto industriales como en dispositivos móviles, los cuales cabria situarlos en aplicaciones comerciales.

Debido a la posibilidad que tiene de dar respuesta digital y a que, por su posibilidad de ser miniaturizado, puede ser montado sobre una placa electrónica. Por ello la gran mayoría de desarrolladores electrónicos lo utilizan, y como consecuencia su precio es asequible.

Atendiendo a las características más técnicas del sensor como su alimentación eléctrica a bajos voltajes, su sensibilidad y el rango de presiones que es capaz

de medir, nos confirma que la utilización de este sensor es óptimo para nuestro proyecto.

De la gran cantidad de sensores piezoresistivos que se encuentran en el mercado se ha acotado la búsqueda a sensores encapsulados en chips. De los sensores que se han encontrado se ha optado por el BMP085 de la marca Bosch.

Sensor de fuerza

Uno de los principales instrumentos del túnel de viento de este proyecto, y prácticamente de todos, es la balanza. A través de las mediciones que la balanza realiza se puede conocer las fuerzas de que se ejercen en el modelo de estudio en los diferentes ejes, como también de los momentos que se provocan. Estas mediciones son posibles gracias a los sensores de fuerza. Los más utilizados para tal fin son las llamadas galgas extensiométricas.

Dentro de las galgas extensiométricas, o extensómetros, existen numerosos tipos, dependiendo de la tecnología y principio físico. Los sensores de fuerza guardan en su mayoría relación con los sensores de presión, por eso, por sus principios físicos. Por ello se puede realizar una equivalencia entre algunos sensores de fuerza y algunos de presión, anteriormente descritos. Esta equivalencia solo es por los principios por los que generan las señales, y no por su estructura u otros elementos que lo conforman. No podemos olvidar que los de presión miden la fuerza que ejerce un fluido y las galgas están preparadas para que la fuerza la ejerza, en general, un sólido en contacto con ella. Las parejas de galgas extensiométricas y sus equivalentes sensores de presión son las siguientes.

Galgas resistivas y sensores de presión resistivos.

Galga capacitiva y sensores de presión capacitivos.

Galgas semiconductoras y sensores de presión piezoeléctricos.

EL tipo de sensores de fuerza de tipo galga que no se encuentra entre los tipos de sensores de presión es la fotoeléctrica. Este tipo de galgas cuenta en su base deformable con un orificio de área variable, dependiendo de la fuerza que se le ejerza. A este tipo de orificio se le enfoca un haz de luz que pasa a través de él hasta impactar sobre una célula fotoeléctrica. Dependiendo de la fuerza que se le aplique al sensor, y por consiguiente el área del orificio, la célula recibirá más o menos cantidad lumínica y por tanto generará más o menos intensidad eléctrica.

Estos cuatro tipos de principios de los sensores son los más comunes. De estos cuatro se decide adquirir el de tipo resistivo. El elegido es el SR4 de la marca BLH.

Estos tipos de sensores son baratos y fáciles de instalar y acondicionar su señal.

Este tipo de sensores consta de una pletina metálica sobre la cual una serie de hilos metálicos que dependiendo de la fuerza que se les ejerza variara su sección, variando también su resistencia.

Sensor de velocidad de flujo

La velocidad del flujo del aire en el interior del túnel es, sin duda, la magnitud más importante de conocer. De la velocidad del flujo y de la linealidad o no de este dependerá, más que de cualquier otra magnitud, el comportamiento del flujo alrededor de un cuerpo. Ante la simulación del comportamiento del flujo de aire alrededor de un cuerpo a una velocidad dada, dependerá de la velocidad del flujo en la cámara de ensayos el orden de magnitud al que se tendrá que escalar el cuerpo.

El sensor tendrá que medir el desplazamiento del flujo de aire por unidad de tiempo.

Históricamente han existido principalmente dos dispositivos para medir la velocidad de un flujo de aire. Estos son dos dispositivos con principios de medición diferentes pero denominados igual: anemómetro.

El anemómetro utilizado principalmente para aplicaciones meteorológicas y eventualmente en aeronáutica consta de un diminuto rotor que, o bien, puede contener tres cazoletas, o bien contener aspas. Expuesto frontalmente el anemómetro a un flujo de aire, el rotor de este girará debido a la fuerza que ejerce el flujo a las cazoletas o aspas. Dependiendo de las revoluciones a las que gire el rotor, el anemómetro, registrará una velocidad, o bien, sobre un papel o de forma digital.

El anemómetro utilizado principalmente en aeronáutica está basado en la comparación de la presión dinámica y la presión estática. Exponiendo frontalmente un tubo Pitot a un flujo de aire, este le proporciona al anemómetro ambos tipos de presiones que, al combinarlas, calcula la velocidad del flujo.

Expuestos ambos, el anemómetro quedaría descartado como instrumento para la medida de la velocidad del flujo en la cámara de estudio, aunque no para otras mediciones en distintas localizaciones. Esto se debe a que al pasar el flujo de aire por el anemómetro este puede distorsionar el flujo debido a las palas o cazoletas, así como el resto del cuerpo del instrumento.

El tubo Pitot también quedaría excluido los instrumentos a utilizar en este proyecto, no por sus características técnicas y aerodinámicas, si no, por su elevado precio en el mercado. En el futuro no se descarta el instalar este instrumento en el momento en que se dispongan fondos para su compra.

Descartadas ambas opciones se busca una alternativa. Se encuentra en el sensor FS5. Este sensor consiste en dos resistencias de platino que varían con la temperatura, ambas instaladas en un chip. La resistencia de bajo número de ohmios es utilizada como heater, mientras que la resistencia de alto número de

ohmios se utiliza como medida de referencia de la temperatura. Se utiliza un circuito puente para obtener la señal que necesitamos. Las ventajas de este sensor son sus pequeñas dimensiones, su fácil instalación, la ausencia de componentes móviles y su precio.

Por ello finalmente se ha decidido utilizar el sensor FS5 para la cámara y un anemómetro para actividades deportivas para otras medidas y calibraciones.

El Microcontrolador Arduino

La cantidad de sensores utilizado en este proyecto obliga a utilizar un sistema de adquisición de datos (DAQ) con el que recibir las señales y poder, con ellas, realizar las operaciones que sean oportunas. Así mismo, este sistema DAQ permite dar salida a señales que se necesitan para que elementos electrónico de muestra de datos (pantallas LCD, leds, buzzers...) reflejen los resultados de los sensores u otro tipo de señales asociadas.

De los diferentes DAQ que existen en el mercado, el más extendido entre los estudiantes u otro tipo de personas que comienzan a trabajar con sensores o actuadores es el Arduino. Este sistema consiste en una placa con diferentes entradas y salidas, analógicas y digitales, que, gracias a un microcontrolador montado en ella, permite programarlo conectándolo a un ordenador y ejecutando un programa homónimo a la placa. Gracias a lo extendido del sistema, existe en la red multitud de proyectos que utilizan la placa con un código asociado a ellos. Esto facilita la realización de los proyectos al tener una base sobre la que trabajar y seguir desarrollando.

De la multitud de placas que existen en el mercado, hay una que presenta las características que necesita nuestro proyecto a un precio económico. Esta placa es la Arduino MEGA 2560.

Esta placa cuenta con 54 pines de entradas y salidas digitales (de los cuales 15 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 VARTs(puertos serie de hardware), un oscilados de cristal de 16 Mhz, una conexión USB, un jack de alimentación, una cabeza ICSP y un botón con función de reset.

A continuación se presenta una tabla con el resto de características fundamentales de la placa MEGA 2560

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7 a 12V
Input Voltage (limits)	6 a 20V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 kB of which 8 kB used by bootloader
SRAM	8 kB
EEPROM	4 kB
Clock Speed	16 MHz

1.3 Túneles parecidos en la zona

1.3.1 Túnel ACLA 16

- **Situación:** Edificio CIDA (Centro de Investigación y Desarrollo Aeroespacial), Madrid.
- **Características principales:** Túnel de lazo abierto aspirado con cámara de ensayos cerrada.
- **Dimensiones:** 7,7 x 4,8 metros de sección y 40,1 metros de longitud.
- **Sección de contracción:** 6 metros de longitud con contracción bidimensional, el techo y el suelo convergen.
- **Cámara de ensayos:** Tiene una sección de 2,2 x 2,2 metros por 20 metros de longitud. Cuenta con una precámara para la creación de turbulencias y una cámara con mesa giratoria.
- **Difusor:** Tiene un primer tramo de 9 metros con una ligera divergencia, seguido de la sección de bifurcación y terminando con una sección divergente que se acopla a las torres de ventiladores.
- **Ventiladores:** Están dispuestos en dos grupos, uno a cada lado del resto del túnel, con dos torres de 4 ventiladores cada uno.
- **Características especiales:** La precámara de ensayos permite crear perfiles de estudio terrestres al poder simular la rugosidad y turbulencias existentes en la superficie terrestre. La mesa giratoria permite estudiar un perfil desde distintos ángulos de incidencias sin necesidad de manipularlo directamente.

1.3.2 Túnel A9

- **Situación:** Universidad Politécnica de Madrid.
- **Características principales:** Túnel de lazo abierto aspirado con cámara de ensayos cerrada.
- **Dimensiones:** Tiene una longitud de 15 metros.
- **Sección de contracción:** Tiene una sección de entrada de 4,8 x 1,8 metros con una longitud de 5,25 metros. Tiene una contracción bidimensional donde las paredes verticales convergen.
- **Cámara de ensayos:** Tiene una sección de 1,8 x 1,5 y una longitud de 3 metros.
- **Difusor:** Tiene una longitud de 6 metros y contracción bidimensional donde sus paredes verticales convergen.
- **Ventiladores:** Cuenta con una matriz de 3x3 ventiladores de 10 kW y 0,9 metros de diámetro cada uno.
- **Otros:** El coste de un ensayo de cargas de viento en este túnel puede oscilar entre los 8000 y 24000 € dependiendo de la complejidad del modelo y el plazo de entrega del estudio.

1.3.3 Túnel A4C

- **Situación:** Universidad Politécnica de Madrid.
- **Características principales:** Túnel de lazo abierto aspirado con cámara de ensayos cerrada.
- **Sección de contracción:** Contracción bidimensional donde sus paredes verticales convergen.
- **Cámara de ensayos:** Tiene una sección de 0,2 x 1,8 con una longitud de 1,2 metros.
- **Difusor:** Está dividido internamente por dos conductos para reconducir la masa de aire hacia las torres de ventiladores.
- **Ventiladores:** Dispuestos en dos torres de dos ventiladores centrífugos cada una. La potencia total de los ventiladores es de 30 kW.
- **Características especiales:** El túnel ha sido diseñado especialmente para ensayos de cuerpos bidimensionales. La cámara de ensayos cuenta con instrumentación adaptable para multitud de tipos de ensayos. Cuenta con una plataforma giratoria en una de las paredes de la cámara de ensayos con un lector de presiones multicanal. En la pared opuesta de la cámara hay instalado un sistema de guías con cojinetes para ensayos dinámicos de oscilación lateral (inestabilidades aeroelásticas).

1.3.4 Wind Tunneling 40-4kW

- **Situación :** EETAC, Castelldefels
- **Características principales:** Túnel de lazo abierto aspirado con cámara de ensayos cerrada.
- **Dimensiones :** 3,1 metros de longitud
- **Sección de contracción :** Cono de contracción de 0,8 metros de longitud con una sección de entrada de 0,8 x 0,8 y una de salida de 0,4 x 0,4 metros
- **Cámara de ensayos:** Tiene una longitud de 0,6 metros y una sección de 0,4 x 0,4 metros.
- **Difusor:** Cono difusor de 1,2 metros con una sección de entrada de 0,4 metros de lado y una salida de 0,8 metros de diámetro.
- **Ventiladores:** Un único ventilador de 0,8 metros de diámetro y 4 kW de potencia.
- **Características especiales:** En una de las paredes de la cámara de ensayos tiene instalada una balanza de tres grados de libertad para montar sobre ella un modelo a escala. Cuenta también con un lector de presiones multicanal.

1.4 Resumen de características de los tipos

En esta sección se presenta una tabla resumen de características de los tipos de túneles de viento de casos reales parecidos a nuestro túnel de viento. Además se compara especificaciones, ventajas e inconvenientes.

Table 1 – Methodologies summary

	Características principales	Dimensiones	Características especiales	Ventajas	Inconvenientes
Túnel ACLA16	Túnel de lazo abierto aspirado con cámara de ensayos cerrada.	7,7 x 4,8 metros de sección y 40,1 metros de longitud.	Simulación de rugosidad y tubulecias. Mesa giratoria	Es idoneo para ensayos de construcciones civiles.	
Túnel A9	Túnel de lazo abierto aspirado con cámara de ensayos cerrada.	longitud de 15 metros.	Cuenta con una matriz de ventiladores de 3x3 de 10 kW y 0,9 m de diametro cada uno	Posibilidad de montar en la camara grandes modelos de ensayo.	
Túnel A4C	Túnel de lazo abierto aspirado con cámara de ensayos cerrada.		Diseñado para ensayos de cuerpos bidimensionales	Posibilidad de hacer ensayos dinámicos de oscilación lateral	La imposibilidad de realizar otro tipo de ensayos
Wind Tuning 40-4kW	Túnel de lazo abierto aspirado con cámara de ensayos cerrada.	3,1 metros de longitud	Tiene instalada una balanza de 3 grados de libertad	La posibilidad de cambiar de ubicación el túnel. Perfecto para ensayos de pequeños modelos y familiarización con la aerodinámica	Las dimensiones del túnel imposibilitan el ensayo de modelos de tamaño medio

CHAPTER 2. CONDICIONES DE DISEÑO

En este capítulo se presentan los distintos elementos fundamentales que conforman el túnel de viento. Estos elementos son los que realizan las funciones que hacen del túnel de viento una herramienta de estudio. Estos elementos, ya sean de producción, conducción o medición del aire tienen que tener unas características que nos permitan realizar los estudios que predeterminemos.

2.1 El ventilador

El ventilador o planta motriz del túnel es el encargado de suministrar una corriente de aire continua a través de él. Dependiendo de las características del ventilador dependerán en gran medida las especificaciones finales del túnel. Por ello, antes de la elección del ventilador, se deberán presentar las necesidades que se desea que este solvente.

En el caso de este proyecto en particular, el diseño de túnel ha venido marcado por las características del ventilador y no al revés. Aun así, antes de pensar en que ventilador utilizar, se tenía un esbozo de ideas de las características del túnel en bruto. De este anteproyecto surgieron una serie de condiciones que tenía que reunir el ventilador que finalmente utilizamos en el proyecto.

En un primer lugar, el ventilador, tiene que tener procedencia comercial. Nos aseguramos así de que el ventilador reúne las medidas de seguridad requeridas como también de su correcto funcionamiento e integridad. De esta forma descartamos la posibilidad de que el ventilador se construya de forma casera.

El ventilador tendrá que ser del tipo axial sin importar su subclasificación, aunque es preferible que sea de cualquier tipo menos helicoidal. Se desea axial al resultar este tipo el más fácil de adaptar a nuestro tipo de túnel al poder acoplar la dirección del flujo del aire marcado por la estructura y el eje de rotación del ventilador en una misma línea. El que preferiblemente no sea helicoidal viene dado a que el resto de tipos de ventiladores axiales son más fáciles de acoplar a un tubo, aparte de que resultan más eficientes.

Se busca obtener un ventilador de carácter industrial con un mínimo de 40 centímetros de diámetro. Con esto se aseguran unas características suficientes para un proyecto de este tipo.

000

El precio de ventiladores industriales a estrenar resulta demasiado alto para el presupuesto del proyecto por lo que el ventilador se buscara en portales de internet u otros medios en los que se promocionen artículos de segunda mano.

En una primera búsqueda en el portal de Internet *Segundamano.es* se encontró que vendían un ventilador HC-50-6T/H de la marca Sodeca al precio de 50 euros, mientras este mismo modelo en la página web de la empresa marcaba

430 euros. El ventilador lo vendían unos particulares de la misma localidad que aseguraban que este no había tenido ningún uso y se compró sin ningún tipo de documento acreditativo ni del ventilador ni de la compra misma.

El HC-50-6T/H es un ventilador axial helicoidal mural con un diámetro de 50 centímetros. Este tipo de ventiladores se utilizan para facilitar la circulación y extracción de aire en naves industriales.

Se instalan directamente sobre la pared sin hacer uso de ningún tipo de conducto adicional.

Este ventilador, como se puede comprobar, reúnen las características que se buscaban en el anteproyecto.

Características técnicas

A continuación se presentan las características generales del ventilador HC-50-6T/H en la Fig. 1.

Velocidad: 940 rpm.

Potencia: 0,37 KW.

Caudal máximo: 8400 m^3 /h.

Nivel de presión sonora: 59 dB.

Peso aproximado: 18 kg.

Intensidad máxima admisible a 230 V: 2,03 A.

Intensidad máxima admisible a 400 V: 1,2 A.

El cuerpo del ventilador puede dividirse en cuatro partes fácilmente diferenciables: marco, rejilla, motor y hélices.

A. Marco

El marco del ventilador está fabricado de chapa de acero a la que se le ha aplicado un tratamiento anticorrosivo.

En las condiciones para las que se diseñó el ventilador, el marco sirve para acoplar el total del cuerpo del ventilador a una pared preparada para ello y conducir el aire del interior de la estancia al exterior a través de las hélices y la corta sección circular de marco que las cubre.

En nuestro caso el marco ha servido para acoplar el cuerpo del ventilador a la estructura que lo mantiene en posición vertical y a su vez para acoplarlo también a la sección del túnel de viento denominada difusor.

B. Rejilla

La rejilla ofrece protección contra contactos según la norma UNE 100250 además de ofrecer apoyo al motor para que pueda acoplarse en el centro de esta.

C. Motor

El motor permite que el ventilador trabaje en entornos en el que suministre energía eléctrica monofásica 230V 50Hz y trifásica 230/400V 50Hz, y en el que la temperatura ronde de los -25 °C y los 60 °C.

De forma predeterminada el giro del motor será tal que la dirección del flujo de aire sea motor-hélice.

Este tipo de motores tienen un grado de protección estandarizada IP55.

D. Hélices

Las hélices están fabricadas en poliamida 6 y reforzadas con fibra de vidrio. El ventilador cuenta con un total de diez hélices montadas sobre un anillo que se acopla al rotor del motor.

Dimensiones

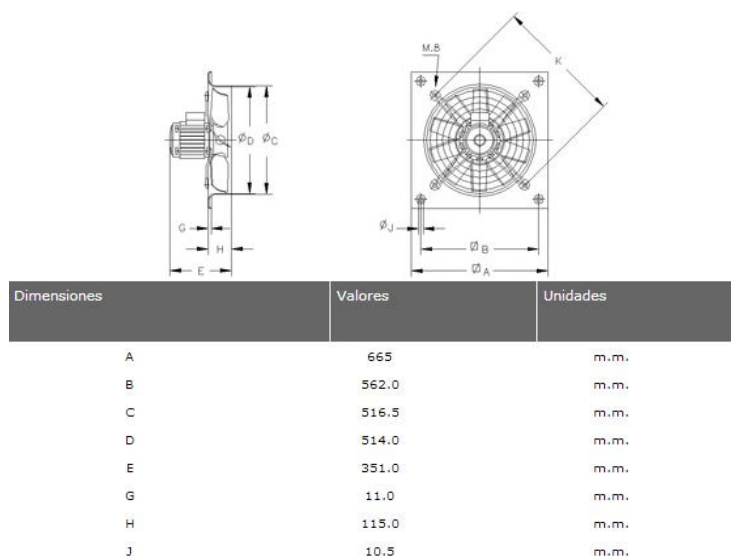


Figura 1 – Ventilador HC-50-6T/H

Actuaciones sobre el ventilador

Aunque para nuestro proyecto inicial el ventilador se presentaba como un elemento "plug & play", se han tenido que realizar una serie de ajustes para que finalmente este cumpliese su cometido. El problema deriva en que la dirección del flujo de aire que proporciona el ventilador de forma predeterminada es la que va del motor a las hélices. Al plantearse un túnel de viento abierto y en el que el ventilador se encargase de aspirar el aire de su interior y estar acoplado a este por el lado del marco opuesto al motor, la

dirección de aire necesario es opuesta a la que en un principio proporciona el ventilador.

Para solventar este problema existen dos soluciones claras. La primera es la de acoplar el ventilador de forma que el motor quedara dentro del túnel y se perdiera el acople que la estructura del marco presenta y la protección que la rejilla proporciona. La segunda solución, y en definitiva la que finalmente se ha tomado, es la de invertir el giro del motor y por tanto de las hélices. Para invertir el giro se utiliza un variador de frecuencia, el cual es también utilizado para variar la frecuencia de giro del motor y por tanto de la velocidad del flujo en el interior del túnel. Con el cambio de sentido de giro del motor también lo hace la dirección del flujo, que será la de hélice-motor.

Con la modificación del sentido de giro aparece un nuevo problema que afecta a la eficiencia del ventilador.

Las hélices del ventilador están diseñadas para un sentido de giro en particular, el predeterminado por el motor. Al cambiar de sentido de giro, las hélices no realizan el mismo trabajo y, por tanto, baja su eficiencia.

El fabricante del ventilador, previendo este problema, permite de forma rápida y sencilla la posibilidad de dar la vuelta al conjunto de hélices. De esta forma el ventilador distribuye el flujo en la dirección estudiada y con la eficiencia inicial.

2.2 La cámara de ensayo

La cámara de ensayos corresponde a la sección más importante del túnel de viento, siendo esta donde se realizan los estudios a los objetos que lo precisan. Aunque la construcción de esta sección no suponga un reto, se debe mantener a lo largo de la cámara la misma sección, sí que lo supone el que el flujo de aire que circula en su interior tenga unas condiciones de laminaridad y turbulencias aceptables para realizar el estudio.

El flujo del aire tiene que ser lo más laminar posible y se acepta un máximo de un 5% de turbulencias.

Las condiciones del flujo vienen dadas por la geometría del resto del túnel y las características del ventilador. Por ello, antes de su construcción es necesario hacer un estudio CFD para poder conocer de antemano una estimación de las condiciones del flujo en la cámara junto a la del resto del túnel con un diseño determinado.

A la hora de diseñar y dimensionar el túnel antes de su construcción se decidió tomar la sección cuadrada de 35x35 como base constructiva del túnel y presente en todas las uniones entre secciones del túnel. Esta sección en concreto se estableció teniendo en cuenta las necesidades de espacio que un estudio como este requiere y de las características del ventilador.

Por un lado se estableció la sección cuadrada como la principal, ya que es la que mejores soluciones constructivas y geométricas presenta.

Por otro lado las dimensiones de la sección vinieron dadas por un pulso entre la necesidad de realizar estudios sobre objetos del mayor tamaño posible y el hecho de que, cuanto mayor sea el área de la sección, menor será la velocidad del flujo. El primer límite lo pone el marco del ventilador que, con una sección circular de 50 centímetros de diámetro, obliga a que la sección de la cámara tenga un área menor. Esto se debe a que el aire en el interior del túnel debe perder velocidad a partir de la cámara de ensayos, y esto se cumple si se aumenta la sección.

Finalmente se decidió por una sección cuadrada de 35 cm de lado. Esta sección se considera suficiente para estudiar objetos como pequeñas maquetas, pero que a su vez se garantice una velocidad suficiente para el estudio.

Otro aspecto que se tuvo que tener en cuenta en el diseño de la cámara fueron los materiales de sus paredes. Este espacio tiene que ser visible desde el exterior para poder ver con claridad el comportamiento del flujo frente al objeto de estudio, por este motivo se decidió utilizar metacrilato. Este material no descompone ni desvía los rayos de la luz además de presentar una resistencia a la deformación que le permite desempeñar el papel de pared de la cámara. Otro aspecto importante de este material es la facilidad de su mecanización lo que permite trabajar de una forma sencilla con él.

En el diseño de la cámara también se tuvo en cuenta que esta debe tener algún tipo de abertura que permita manipular en su interior sin tener que separar necesariamente la cámara de alguna de las dos secciones a las que está unida. Teniendo en cuenta que la abertura tiene que ser lo suficientemente amplia como para poder trabajar sobre el objeto de estudio alojado en el interior de la cámara y que los componentes del sistema de abertura pueden suponer otro reto constructivo, se decidió finalmente el utilizar la totalidad de una de las paredes de la cámara como abertura. La placa de metacrilato, que hace a la vez de pared y de elemento extraíble en el caso de querer operar en el interior de la cámara, esta atornillada a la cámara por 6 tornillos que son necesarios extraer si se requiere abrirla.

Dependiendo del modelo de estudio se precisara utilizar distintos tipos y números de apoyos los cuales se fabricaran y posicionaran de tal manera que intervenga lo menos posible en el flujo de aire. Los tipos y números de apoyos o sujeciones vendrán dados por la posición, dentro de la cámara, que el objeto precise ser colocado como, también, su diseño, del cual dependerá donde colocar los puntos de apoyos y el número de estos.

Otro aspecto del cual dependerá el tema de los apoyos es el tipo de estudio que se realizara sobre él, ya que dependerá de si solo se quiere observar cómo se comporta el flujo al enfrentarse al objeto o también se quiere obtener la magnitud de las fuerzas que en el interviene. En este último caso el apoyo estará sujeto a la balanza y tendrá que pasar un control estructural para asegurar el buen funcionamiento de la balanza.

2.3 La balanza

La balanza es un instrumento que en un túnel de viento se ocupa de medir las cargas aerodinámicas, fuerzas y momentos que ocurren sobre un objeto alojado en el interior del túnel con el fin de estudiar su comportamiento frente a un flujo de un fluido.

Junto a los sensores, que se encargan de caracterizar el flujo del fluido, y la máquina de humo, que permite visualizar el comportamiento del flujo del aire, la balanza proporciona los datos necesarios para poder predecir el comportamiento de este modelo en su escala original en condiciones similares a las que se somete en el túnel.

De este modo se pueden apreciar fuerzas o momentos que hagan peligrar la integridad del modelo.

La precisión y fiabilidad que proporciona la balanza vendrá dada en gran medida por la complejidad de esta. Puede darse el caso de la utilización en un estudio, desde una balanza rudimentaria que utilice una pesa para contrarrestar las fuerzas que sufre el modelo y muestre su magnitud mediante un indicador mecánico, a un complejo sistema de hardware y software que calcule las fuerzas y momentos instantáneamente quedando registrados en una pantalla junto a las condiciones del flujo en ese instante.

Dependiendo de la importancia y presupuesto de la investigación, la complejidad del modelo, la precisión requerida y las condiciones del estudio se montará en el túnel una balanza u otra, y en algunos casos de varias a la vez. Por ello es importante conocer los tipos de balanzas que existen para tomar la decisión correcta. Existen dos grandes grupos clasificados según el emplazamiento en el que se sitúa la balanza.

Balanzas externas: Este tipo de balanzas se encuentran fuera del objeto de estudio pudiendo estar ya sea en el interior o exterior de la cámara de ensayos. Las ventajas de este tipo de balanzas es que pueden utilizarse para multitud de estudios utilizando distintos modelos, cambiando quizá solo el tipo y número de soporte de la pieza de estudio.

Al encontrarse fuera del modelo de estudio, en caso de reparación o modificación, resulta más fácil a priori trabajar sobre ella.

Las contras de este tipo de balanzas es que en la mayoría de los casos, en mayor o menor medida, estas interfieren en el estudio al desviar el flujo de aire en el espacio que ocupa.

Dentro de esta clasificación de balanzas existen varios grados de complejidad, dependiendo de los canales de medida que estas tengan, pudiendo variar de 1 a 6.

Balanzas internas: Este tipo de balanzas se encuentran en el interior del modelo de estudio, aunque sigue teniendo la necesidad de algún apoyo mecánico para sostenerse en el interior de la cámara.

Las ventajas de este tipo de balanzas es que esta no interfiere de ninguna forma en el flujo de aire, pudiendo realizar así un estudio más preciso que utilizando el tipo anterior de balanzas. Las contras de este tipo de balanzas es que estas sirven solo para un solo modelo de estudio, y su complejidad y coste la hacen prohibitiva para la mayoría de estudios.

Al igual que en la anterior clasificación, las balanzas pueden tener de 1 a 6 sensores que miden las diferentes fuerzas y momentos que se aplican al modelo.

La balanza que finalmente integraremos en nuestra cámara será del tipo de balanza externa.

Esta decisión se ha tomado al priorizar la versatilidad que ofrecen estas frente a las internas, además del menor grado de complejidad para su construcción. Este tipo de balanzas supone la posibilidad de realizar un gran abanico de estudios.

Referente a los grados de complejidad de la balanza se aprobó utilizar el máximo numero de sensores, 6, para así poder realizar estudios donde se vean reflejados la totalidad de fuerzas y momentos que actúan sobre el modelo de estudio en su conjunto. Los sensores que se utilizaran para medir estas fuerzas serán las galgas extensiométricas.

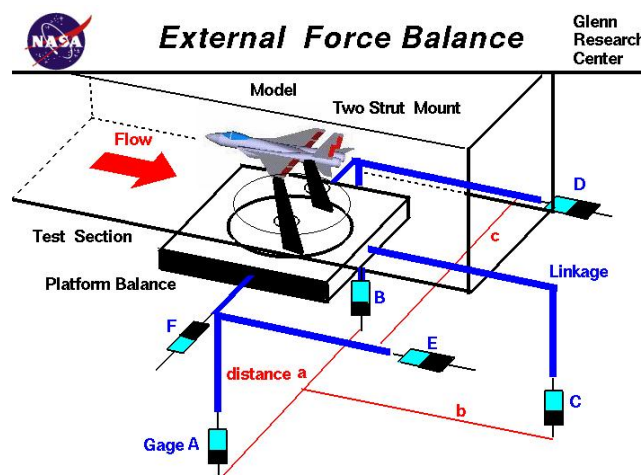


Figura 2 – Balance de fuerzas y momentos del objeto a ensayar

En el anterior esquema de la balanza de la Fig. 2 se puede observar que consta de un soporte para montar sobre el modelo. Unido al soporte una plataforma en la cual confluyen una estructura de varillas que sostienen el extremo a las galgas extensiométricas.

En este esquema se puede observar que dependiendo de las fuerzas que se ejerzan sobre el modelo de estudio se tensionaran unas u otras galgas. De este modo se puede recibir, a parte de la magnitud de la fuerza, el eje sobre la cual

se está ejerciendo esta fuerza. Esta es la idea sobre las que se basan las balanzas de este tipo.

Las galgas, como podemos ver en la imagen, están diferenciadas por letras mayúsculas de la A a la E. En letras minúsculas se acotan las diferentes medidas que se tendrán en cuenta a la hora de calcular los momentos, siendo estas a, b y c.

De estas distancias y de las señales que dan las galgas, se pueden extraer las fuerzas y los momentos calculados mediante una serie de ecuaciones, siendo W el peso del modelo de estudio.

$$\text{LIFT: } L = A + B + C - W$$

$$\text{DRAG: } D_r = E + D$$

$$\text{SIDE FORCE: } Y = F$$

$$\text{ROLLING MOMENT: } RM = (A + B) * (a/2)$$

$$\text{YAWING MOMENT: } YM = (D - E) * (c/2)$$

$$\text{PITCHING MOMENT: } PM = C * b$$

Las señales de los sensores se adquirirán mediante un DAQ que será el encargado de calcular las ecuaciones.

El diseño que se ha creado para el proyecto sigue el mismo esquema y filosofía que el anteriormente mostrado, añadiéndole elementos para poder adaptarlo a nuestra cámara de ensayos.

Se realizara un orificio a la base de metacrilato de la cámara de ensayos para introducir el soporte.

El soporte ira cubierto por una junta en su parte inferior y en contacto con la base para impedir que el flujo de aire salga por el orificio que hemos creado. La junta permitirá una libertad de movimiento sin ofrecer una resistencia que altere el resultado de los ensayos.

Se montara una estructura prácticamente igual a la de la cámara de ensayos en la parte inferior de esta, solo que de distintas dimensiones. En esta nueva cámara, la apertura se encontrara en la base de la misma, con el mismo sistema de apertura que en la anterior.

De las paredes de la subcámara irán fijados uno de los extremos de las galgas. El otro extremo ira sujeto a la estructura de varillas que confluyen en la plataforma que sirve de base para el soporte.

La plataforma ira colgada de unas sirgas metálicas a la base de la cámara de ensayos.

Tanto las sirgas como las galgas tendrán que tener un equilibrio de tensiones que permita la correcta medida de estas últimas. Para ello se tendrá que tener algún sistema que regule las tensiones de estas.

Las señales de las galgas las recogerá una placa de Arduino, la cual se dedicará a tratar las señales para que se realicen los cálculos de las ecuaciones anteriormente citadas.

2.4 Maquina de humo

La inserción de humo en el túnel de viento para que el flujo de aire lo arrastre significa un apoyo visual al estudio aerodinámico. El humo nos permite ver las líneas de flujo y como estas se alteran al paso del modelo de estudio.

El tipo de humo que se produce tiene que ser fácilmente arrastrado y moldeado por el flujo. Por razones de seguridad el humo no tiene que ser nocivo para la salud y tiene que producirse de una manera segura y controlada. Existen dos formas de producción de humo que son las más extendidas y reúnen las características que buscamos.

Una es la de sumergir hielo seco en agua caliente. El hielo seco es dióxido de carbono (CO_2) en estado sólido. El CO_2 tiene el punto de sublimación muy bajo y al entrar en contacto con el agua caliente, también se produce el efecto con agua del tiempo, este pasa directamente de estado sólido a gaseoso, generando el humo que necesitamos.

Otra forma de generar humo es la de calentar una mezcla de agua, glicerina y alcohol al 70,20 y 10 por ciento respectivamente. Esta mezcla al calentarse con el agua genera un humo que puede ser más o menos denso variando la proporción de glicerina y agua. Cuanta más glicerina por porción de agua más densa resultara el humo.

La primera forma no necesita ningún mecanismo ni elemento eléctrico, en el caso de que se haga con agua templada, para generar el humo aunque presenta el inconveniente de la conservación y manipulación del hielo, así como su adquisición y precio. Existen formas de generar hielo seco con un extintor, pero no se recomienda.

La segunda forma presenta la ventaja de que sus elementos son fáciles de comprar y su precio es mucho menor al del hielo seco. El inconveniente que tiene es que se tiene que llevar hasta la ebullición la mezcla para que se genere el humo, con el gasto de energía que esto conlleva.

Finalmente se decidió utilizar el segundo método, ya que resulta el que mejores características reúne. La construcción de un sistema que lo produzca, aun no siendo tan sencillo como en el caso del hielo seco, tampoco supone un reto inalcanzable. También nos hemos decantado por esta opción al resultar más fácil por la conservación y manipulación de los elementos, así como el poder regular la densidad de la mezcla mediante el porcentaje de sus elementos en la mezcla.

El diseño del sistema que vamos a construir consta de dos recipientes: el primero servirá como depósito mientras el segundo servirá como calentador.

En el **primero** se colocara en la base de su interior una bomba de agua que impulsara la mezcla hasta el segundo recipiente a través de una manguera plástica.

En el **segundo** recipiente se calentara la mezcla mediante un hervidor de inmersión que colocaremos en su interior alojado en un orificio de la base. Una vez llevada la mezcla a ebullición el gas, o humo, resultante pasara a través de otra manguera al túnel, donde será arrastrado hasta la cámara de ensayos en la que cumplirá su cometido.

CHAPTER 3. DISEÑO DEL TÚNEL DE VIENTO

En este capítulo se presenta un estudio físico sobre la conducción del aire y su posterior diseño, simulación y calibración. Este capítulo es de vital importancia para corroborar el buen funcionamiento del túnel.

3.1 Lista de requerimientos

Antes del diseño y fabricación del túnel de viento se deben de marcar unos requerimientos y objetivos que tiene que cumplir finalmente el túnel. Estos requerimientos son los que marcarán la hoja de ruta del proyecto.

En este proyecto no se pretende crear un túnel de viento de altas prestaciones, si no que se pretende crear un túnel de viento funcional, atendiendo más al proceso de diseño y construcción.

Con esto se pretende crear una base para futuros proyectos similares. El túnel pretende ser una herramienta para estudiantes u otras personas que quieran empezar a entrar en el mundo de los estudios aerodinámicos.

Los requerimientos por lo tanto tendrán un carácter austero, una vez se alcancen estos requerimientos se pondrá sobre la mesa alcanzar otras metas más exigentes.

La lista de requerimientos iniciales es la siguiente:

- Se debe alcanzar al menos una velocidad de flujo en la cámara de 20 m/s.
- Las turbulencias en la cámara de ensayo no deben alcanzar el 5%.
- La cámara deberá contar con una balanza que permita medir al menos las fuerzas ejercidas sobre el modelo de estudio en los tres ejes.
- Al menos en la cara se deben instalar sensores que caractericen el fluido.
- La geometría del túnel deberá buscar la laminaridad del flujo.
- El túnel deberá tener una longitud comprendida entre los 2.5 y los 3.5 metros.
- La estructura del túnel deberá mantener una altura del túnel en la que resulte cómodo trabajar.
- La cámara de ensayos tiene que ser capaz de poder albergar objetos para ensayos de al menos 30x30x30 centímetros.
- La estructura deberá aguantar el peso del túnel completo y el empuje del ventilador.
- La estructura deberá tener algún tipo de freno o anclaje que lo mantenga en una posición estática.
- El ventilador deberá tener al menos 40 cm de diámetro, desalojar al menos 7000 metros cúbicos de aire por hora y alcanzar una velocidad de giro de 8000 rpm.

- El ventilador deberá disponer de una estructura que le permita una fácil unión hermética con el túnel.
- El túnel deberá de tener un sistema de creación de humo que permita la visualización del flujo de aire.

3.2 Diseño de la forma del túnel de viento

El diseño de la geometría del túnel de viento condicionara el flujo de aire que circule en su interior una vez construido. De hacerse de manera equivocada puede producir una falta de laminaridad del flujo y que este pueda ser turbulento en algún punto. Por ello se tiene que estudiar paso a paso los condicionantes del diseño y la solución geométrica más acertada.

El diseño del túnel vamos a realizarlo a partir de las características técnicas y dimensionales del ventilador. El ventilador es la primera pieza que se ha adquirido del proyecto y por ello, y porque es el que realizara la aspiración del aire, debemos tomarlo como base inicial.

Aunque tomemos el ventilador como base en el diseño, la cámara es la sección en la que se llevaran a cabo los estudios. Por este motivo, la cámara debe ser la primera sección que diseñemos. Los datos que necesitamos del ventilador son el caudal que este proporciona y el diámetro que posee.

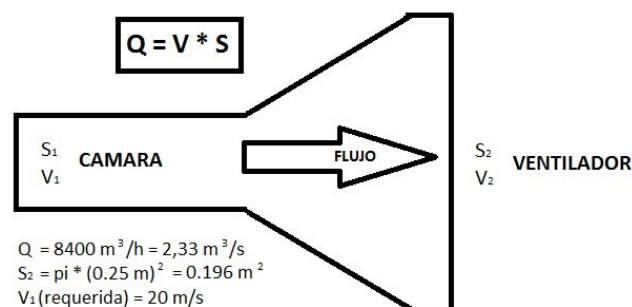


Figura 3 – Esquema del caudal, secciones y velocidades

El caudal que ofrece el ventilador según se muestra en la Fig. 3 es de $8400 \text{ m}^3/\text{h}$, $2,33 \text{ m}^3/\text{s}$. Su sección la calculamos a partir de su radio. Siendo el radio $0,25 \text{ m}$, el área de su sección es de $0,196 \text{ m}^2$.

Sabiendo que el caudal es el resultado del producto de la velocidad y la sección:

$$Q = S(2) * V(2) \rightarrow V(2) = Q / S(2) = 2,33 / 0,196 = 11,88 \text{ m/s}$$

Ahora sabemos que la velocidad del flujo a través del ventilador tiene una velocidad máxima de $11,88 \text{ m/s}$.

Sabiendo que el caudal se mantendrá a lo largo de todo el túnel, ya que se trata de un ejemplo claro del efecto Venturi, podemos calcular el área que la

sección de la cámara debe tener para cumplir el requerimiento de que, por la cámara, el flujo tiene que alcanzar al menos una velocidad de 20 m/s.

$$S(1) = Q/V(1) = 2,33 / 20 = 0,1165 \text{ m}^2$$

Sabiendo el área que debe de tener la sección toca decidir la geometría de la sección que cumplirá tal área. Por cuestiones constructivas y teniendo en cuenta que se tiene que incluir la balanza y otros instrumentos en la cámara, decidimos que la sección debe de ser cuadrada.

Siendo el área $0,1165 \text{ m}^2$, la sección se calcula obteniendo su raíz cuadrada que es 0,34 m. Por razones constructivas marcamos la sección cuadrada de 35 cm, esto nos reduce la velocidad máxima que se puede alcanzar en la cámara a 19 m/s pero admitimos esta pequeña diferencia.

Una vez calculada las dimensiones de la cámara, y sabiendo las del ventilador, automáticamente tenemos que el difusor tendrá en un extremo una sección de 35 cm de lado y en el otro extremo una sección circular de 50 cm de diámetro. El largo del difusor se obtendrá mas adelante.

Como en el caso del difusor, el estabilizador también vendrá marcado por la sección de la cámara. El estabilizador será de sección constante, así pues el extremo opuesto a la cámara también contara con la misma sección. El largo se obtendrá mas adelante.

Llegado a este punto del diseño, solo nos queda diseñar la geometría del cono de aceleración. Esta sección tiene una libertad mayor respecto a su geometría comparándola con las demás. En la Fig. 4 se presentan tres tipos de modelos. Estos tres modelos deberán pasar por el examen de una simulación aerodinámica para, teniendo el resultado, compararlas entre ellos y elegir el que mejor se adapte a nuestro proyecto.

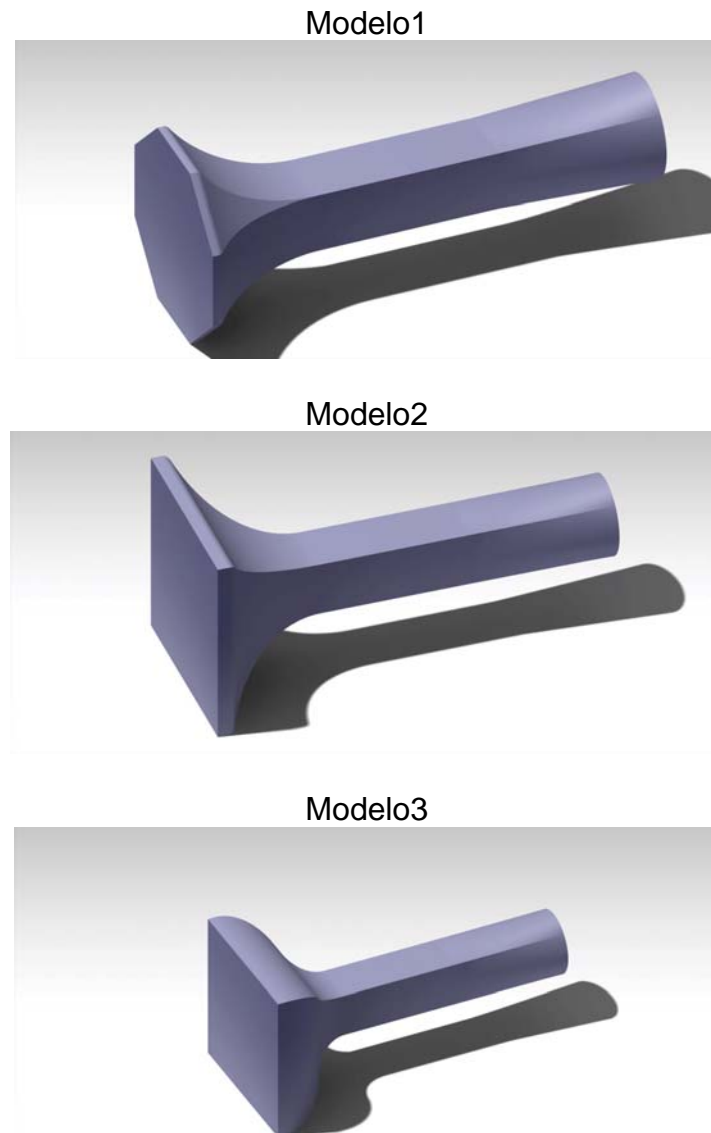


Figura 4 – Los tres modelos de cono de aceleración junto a su estabilizador, cámara de ensayo y difusor en la derecha de la imagen.

La simulación se realiza con el mismo cuerpo del túnel, solo cambiando el cono de aceleración. Utilizamos el programa Abaqus y establecemos una velocidad de salida del difusor de 20 m/s, una densidad de $1,225 \text{ kg/m}^3$ del aire y una viscosidad de $1,785\text{e-}5 \text{ N}\cdot\text{s/m}^2$. De este programa extraemos los resultados de presión, turbulencias, helicidad, velocidad y vorticidad del flujo a lo largo del túnel.

Resultados en Anexo

Examinando los resultados de los tres modelos podemos ver, por las representaciones gráficas, que la turbulencia en los tres casos es baja y se concentran sobre todo en las paredes del túnel. En el caso del modelo 3 las turbulencias son algo menores.

Examinando la vorticidad vemos que los tres presentan unos valores medios-bajos siendo el numero 3 el que presenta valores más bajos.

Examinando la helicidad observamos que los modelos 1 y 3 presentan unos niveles medios-altos, siendo el numero 3 el que mayor helicidad presenta, y el numero 2 presenta unos valores medios. Vemos que los 3 presentan unos valores altos de helicidad en la salida de los conos de aceleración.

Examinando la divergencia vemos que los modelos 1 y 2 presentan unos valores medios mientras que el numero 3 presenta unos valores bajos.

Analizando los valores de presión de los modelos vemos que los tres tienen el cambio principal de presiones a la baja en el cono de aceleración llegando con unos valores relativamente estables al estabilizador, siendo el número 3 el que más estabilidad presenta.

Analizando las velocidades vemos que los tres llegan con unas velocidades altas a la cámara de ensayos siendo el número 3 el que menos velocidad presenta en esta sección.

Una vez analizados los tres modelos podemos concluir que los tres son aptos para adaptarlo a nuestro proyecto, siendo el número 3 el que mejores prestaciones presenta.

Aun teniendo estos resultados se decide utilizar el modelo número 1.

Decidido el modelo de cono de aceleración solo falta establecer las longitudes de las 4 secciones que aquí se presentan. Tras ser modelado el túnel con programa Catia y simulado con el programa Abaqus, y atendiendo a asuntos constructivos, de transporte del túnel y a los requerimientos que debe de cumplir se decide que las secciones adquieran las siguientes longitudes:

Cono de aceleración:	0,7 m.
Estabilizador:	0,7 m.
Cámara de ensayos:	0,4 m.
Difusor:	0,9 m.

3.3 Calibración de la simulación

En este proyecto las simulaciones de dinámica de fluidos se las realizamos con el programa Abaqus. Anteriormente hemos realizado simulaciones con este programa para elegir el cono de aceleración óptimo, en este caso vamos a utilizarlo para recrear los cambios de presiones y velocidades que ocurren en un flujo al paso de un perfil alar.

Para esta simulación se ha creado con el programa Catia un prisma sólido de 6 x 1.7 x 2.5 metros. En su interior se ha creado un vaciado que corresponde con un perfil alar de un Boeing 737. Este perfil se ha creado a partir de los puntos que se han obtenido con el programa Profili V2. El perfil se ha escalado para que tenga unas dimensiones aproximadas entre el borde ataque y el de salida de 1 metro y en tres las líneas tangentes al extradós e intradós de 15 centímetros. Al perfil centrado en el sólido, se le ha dado una profundidad de 0.5 metros.

Esta simulación pretende simular un perfil en un espacio abierto, de ahí las dimensiones. Con estas dimensiones se intenta conseguir que las paredes que encierran el espacio de estudio intervengan lo menos posible con la interacción entre flujo y perfil. Dadas las dimensiones, los tetraedros que forman la malla de la simulación también tendrán unas dimensiones grandes debido a una limitación en el número de nodos, esto puede provocar que los datos de la simulación no tengan la precisión deseada.

En la simulación se han medido las velocidades y las presiones a lo largo de la pieza. Como resultado tenemos unos mapas de diferentes colores que representan los diferentes grados de magnitud.

Se han realizado simulaciones con el mismo perfil con tres posiciones diferentes: 3, 6 y 10 grados cuyo extracto se muestra en la Fig 5.

NOTA: Los resultados de todas las simulaciones se pasan al final del anexo

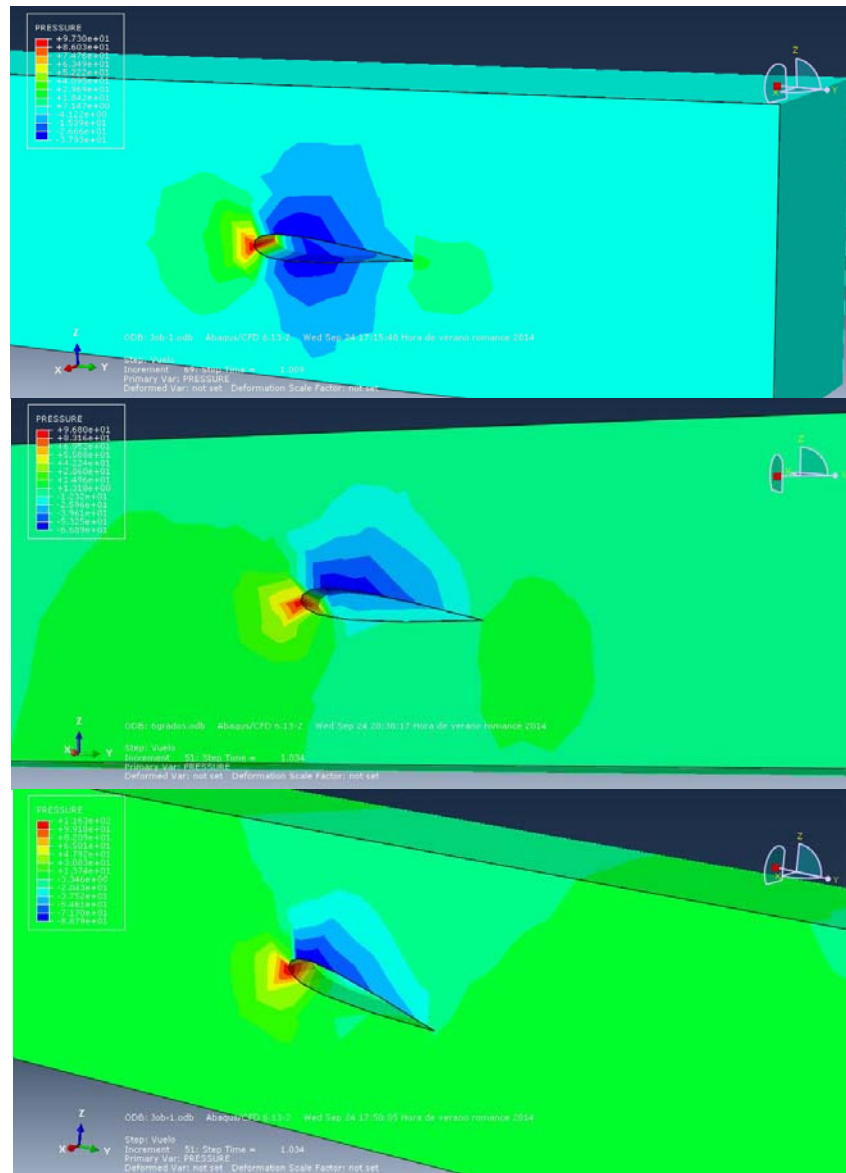


Figura 5 – Simulaciones de un mismo perfil en 3, 6 y 10 grados

En estas imágenes podemos ver la progresión de las distribuciones de las presiones y las velocidades en los tres casos.

Vemos que se cumple que a mayor ángulo de incidencias menores son las presiones en el extradós, lo que en el caso real provoca la ascensión de un aeroplano.

Respecto a las velocidades vemos que cuanto mayor es el ángulo el área de velocidades bajas es mayor en el intradós.

3.4 Simulación de las condiciones del túnel de viento

Las simulaciones del flujo en el interior del túnel ya se han hecho en la sección de diseño del cono de aceleración pero en este caso se van a hacer con un modelo de estudio en su interior que, como en el caso anterior, es el perfil B737.

El realizar estas simulaciones tiene el propósito de poder estudiar cómo se comporta el flujo del interior del túnel ante el modelo de estudio, y con los resultados poder optimizar los recursos que ofrece el túnel. Dependiendo del tamaño del modelo se podrá obtener unos resultados más fiables. Si el tamaño del modelo resulta demasiado grande, las paredes de la cámara obstaculizaría la interacción entre el flujo o el modelo de estudio. Mientras que si el modelo resulta tener un tamaño demasiado pequeño, se necesitaría mucha precisión en los aparatos de medida además de un flujo necesariamente con una laminaridad muy alta. Por ello se harán simulaciones con cuatro escalas del perfil B737 con una inclinación de 6 grados.

La simulación se realiza con una velocidad de salida del flujo de 11 m/s.

A continuación presentamos alguna imagen en la Fig. 6 de los resultados obtenidos en la simulación.

NOTA: Los resultados de todas las simulaciones se pasan al final del anexo

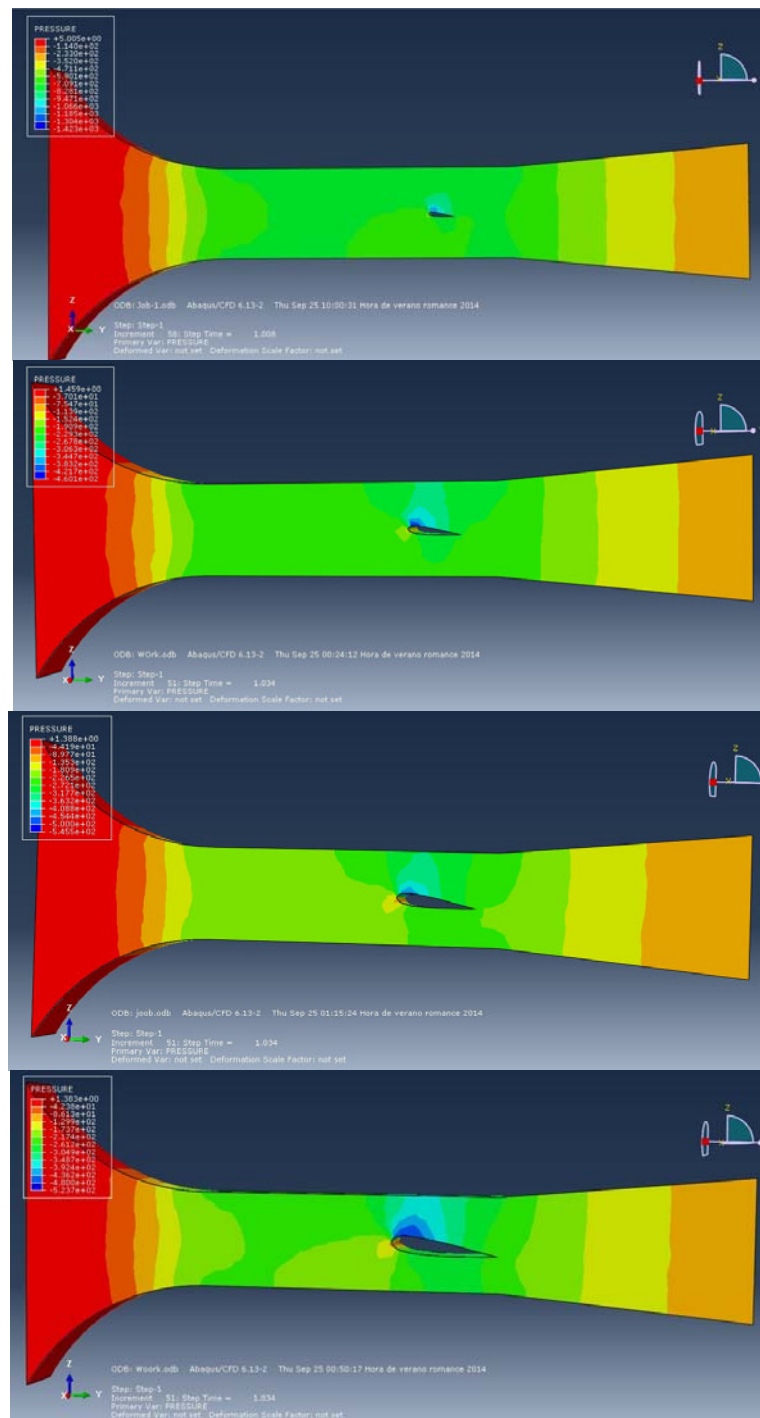


Figura 6 – Simulaciones de un perfil de ala principal de un Boeing 737 a 11 m/s a diferentes escalas que llegan a bloquear el túnel e viento

En las imágenes de los mapas de presiones podemos ver que en las de mayor tamaño, sobre todo la mayor, estas no logran desarrollarse completamente como lo harían en un espacio abierto. En las dos menores, y sobre todo en la de menor tamaño, vemos que las presiones en los extremos superiores e inferiores tiene el rango de magnitud que marca la zona del estabilizador y las demás zonas de presiones que rodean al perfil se cierran completamente.

De igual manera en el mapa de velocidades la simulación óptima es aquella que en la sección donde se encuentra el modelo de estudio las velocidades del estabilizador consiguen tener continuidad en las partes superiores e inferiores de la pieza, antes de llegar a las zonas en las que el flujo entra en contacto con las paredes.

Como en el caso anterior son las simulaciones con los perfiles de menor escala quienes cumplen estos requisitos.

Con lo visto hasta ahora, la simulación más fiel con las características de un flujo en espacio abierto es la que contiene el perfil de menor escala, aunque como hemos dicho anteriormente, puede resultar difícil tener unos resultados fiables a la hora de realizar el ensayo en el túnel real. Por este motivo un tamaño ideal estaría comprendido entre los dos modelos de menor escala. Las medidas del perfil estarían comprendidas entre los 10 y los 20 centímetros de longitud respecto al eje paralelo a la dirección del flujo y de 18 a 36 centímetros respecto al eje perpendicular a la dirección del flujo.

CHAPTER 4. PRESUPUESTOS DEL TÚNEL DE VIENTO

En este capítulo se hace un recuento de los recursos económicos que se han empleado para después explicar el proceso de fabricación del túnel prestando atención en el plan seguido.

4.1 Costes de los materiales

Este proyecto se estableció desde su comienzo como un proyecto de bajo coste, en el que se ha tratado de reducir los costes de mano de obra de terceros para invertirlos en materiales. Aunque se ha tratado de buscar siempre la opción mas económica en todo momento se ha priorizado la calidad con el fin de dotar al túnel con unas buenas prestaciones.

El proyecto comenzó con dos piezas claves como son el ventilador y el variador de frecuencia, dos piezas que inicialmente se presentaban como las de mayor coste pero que se consiguieron al precio de 50 euros cada una. El variador de frecuencia se tuvo que cambiar por incompatibilidad con el proyecto.

En un primer momento se hizo una estimación de que se gastaría unos 700 euros, pero al no haber realizado este ni ningún otro proyecto similar no se tuvieron en cuenta sobre todo los pequeños gastos en materiales y herramientas, siendo el coste final mucho mayor. A esto hay que sumarle el material que por inexperiencia se echó a perder o no se supo aprovechar como conviene. También hay que sumarle la gasolina utilizada y costes adicionales como gastos de envío de materiales y elementos electrónicos.

Mucho del material no se llegó a utilizar en este proyecto o simplemente no hizo falta utilizarlo, este material no se ha incluido en los costes al igual que la electricidad utilizada.

La mayoría de la herramienta utilizada en este proyecto ya se contaba en nuestra propiedad por lo que solo se compró, en su mayoría, material y componentes electrico y electrónicos.

Los costes del proyecto se han dividido en cuatro grandes grupos: costes en material, herramientas, elementos eléctricos y electrónicos y de desplazamientos.

Material

Este apartado de costes es el que mayor contribuye al total al tener que comprarse casi por completo todos ellos. Casi todo el montante corresponde como se puede ver en la tabla en la fabricación del molde y del cuerpo del túnel, haciendo una especial mención al coste de la estructura que aparte del material también va incluida la mano de obra del herrero.

Material	Unidades	Precio Unidad (€)	Precio Total (€)
Fibra de vidrio 200 (m2)	6	3,05	18,3
Fibra de vidrio 400 (m2)	6	4,07	24,42
Resina de poliester (kg)	6	4,47	26,82
Pintura TopCoat (kg)	5	8,4	42
Perfiles de aluminio (2 m)	5	6,8	34
Cera de barco (kg)	1	14,75	14,75
Masilla dePoliester (kg)	1	16,5	16,5
Spray de pintura (bote)	2	5,8	11,6
Cinta de carroceros	1	0	0
Espanja	1	0	0
Disco de lija amoladora	1	7,78	7,78
Cuerda fina.	1	0	0
Acetona (bote)	1	0	0
Recipientes Resina	1	0	0
Recipientes Pintura	1	0	0
Recipientes Masilla	1	0	0
Tornillos y tuercas (paquete 12)	6	1,64	9,84
Placas metacrilato (35x40cm)	4	11	44
Remaches (paquete 50)	2	3,5	7
Broca de 5 mm	1	3,45	3,45
Resto de brocas	3	0	0
Disco de amoladora hierro.	1	0	0
Juntas de goma (5m)	2	7,95	15,9
Termo de aluminio de 1.5 l	1	15,3	15,3
Cantimplora de aluminio de 1 l	1	0	0
Masilla de soldaje en frio (paquete)	1	8,45	8,45
Manguera de acuario (m)	5	1,2	6
Pegamento de contacto	1	0	0
Panel de aglomerado (m2)	4	4,65	18,6
Listones de madera (2.4 m)	7	3,65	25,55
Clavos pistola clavos (paquete)	2	0	0
Grapas (paquete)	2	0	0
Plancha de policarbonato (m2)	6	20	120
Cola de carpintero (bote)	1	0	0
Mascarillas (paquete 3)	1	3,95	3,95
Guantes de carpintero	1	4,5	4,5
Gafas protectoras.	1	3,95	3,95
Pletina metalica.	1	0	0
Lija de grano medio.	1	0	0

Alcohol (1l)	2	2,3	4,6
Glicerina(1l)	2	3,9	7,8
Estructura	1	260	260
TOTAL Material			755,06

Herramientas

Este apartado es el que menos contribuye al total de los costes. Esto se debe a que el molde y la fabricación del cuerpo del túnel hasta antes del lijado de las secciones se realizaron en un taller en el que se confeccionan sofás y tresillos, por lo que se disponía de toda la herramienta necesaria.

Material	Unidades	Precio Unidad (€)	Precio Total (€)
Remachadora	1	15,3	15,3
Jeringilla	1	0,75	0,75
Rodillo de anillas metalicas	1	7,45	7,45
Brochas de varios anchos	12	1,5	18
Amoladora.	1	0	0
Sargentos.	4	0	0
Tijeras.	1	0	0
Rotulador.	1	0	0
Pistola de clavos neumatica.	1	0	0
Grapadora neumatica.	1	0	0
Metro.	1	0	0
Escuadra.	1	0	0
Tenazas.	1	0	0
Sierra de calar.	1	0	0
Lapiz.	1	0	0
Cinzel de 2 cm de ancho.	1	0	0
Martillo.	1	0	0
Taladro.	1	0	0
Rotulador.	1	0	0
Lima de metales.	1	0	0
Mechero.	1	0	0
Pinzas.	1	0	0
TOTAL Herramientas			41,5

Elementos eléctricos y electrónicos

En este apartado se incluye al ventilador por el cual se pagó un precio apreciablemente más bajo, suponiendo un ahorro importante en los costes del proyecto. Por los demás en este apartado solo el variador de frecuencia, completamente necesario en el proyecto, sobresale de los demás costes.

Material	Unidades	Precio Unidad (€)	Precio Total (€)
Bomba de agua	1	5,45	5,45
Hervidor de inmersión.	1	17,5	17,5
Sensor Fuerza (paquete 5)	2	7,95	15,9
Sensor Velocidad			
Termico	1	17,95	17,95
Sensor temperatura	3	3,45	10,35
Sensor Presion	3	4,3	12,9
Arduino	1	13,75	13,75
Ventilador	1	50	50
Variador de Frecuencia	1	157	157
Anemometro	1	10,65	10,65
TOTAL Electronica			311,45

Desplazamientos

En este apartado se incluye los gastos que se han contabilizado a razón de los desplazamientos que se ha realizado en coche particular para la compra de material y el desplazamiento hasta el taller que se encuentra en un polígono industrial a las afueras de la ciudad, como también los gastos de envío y aduanas. La mayoría de los artículos tenían coste cero en envío, pero no fue así con varios sensores y material. Otro concepto por el que se abonó dinero fue por el de la aduana que tuvieron que pasar varios componentes electrónicos provenientes de China, por el que se ha contabilizado solo la parte proporcional de los elementos utilizados.

Concepto	Precio
Deposito gasolina	70
Portes RESINECO	28,06
Aduanas	13
Portes FARMELL	7,6
TOTAL Desplazamientos	118,66

En total se ha contabilizado un total de 1226,67 euros gastados en el proyecto, siendo esta una estimación del total verdadero. El total verdadero no se ha podido contabilizar en su totalidad debido a que muchos de los materiales se han tenido que comprar por duplicado a causa de errores de manipulación y otros no se ha llegado a utilizar.

El total de los costes casi duplica al inicialmente calculado, siendo casi el doble. Este desfase de costes no ha supuesto un peligro en la viabilidad del proyecto al no existir un tope de gastos.

4.2 Presupuesto de potencia

El espacio en el que se realizan los estudios con el túnel de viento debe tener una instalación eléctrica que satisfaga su demanda de potencia y disponga de las protecciones eléctricas para que ni el equipo, ni las personas que lo manipulan sufran ningún tipo de daño.

Para ello primero tenemos que identificar las potencias más significativas. Las dos potencias que más contribuirán a la demanda de potencia son el ventilador y el hervidor de inmersión de la máquina de humo. El ventilador tiene consume una potencia máxima de 0,37 kW que se regula gracias al variador de frecuencia. El hervidor de inmersión consume una potencia de 0,35 kW. Tenemos pues una potencia máxima de 0,72 kW, esta potencia es asumible por la gran mayoría de instalaciones eléctricas, aun si se trata de instalaciones domésticas.

La regulación del factor de potencia no es necesario en este caso, ya que el ventilador que es el que necesitaría la regulación tiene acoplado al variador que entre otras cosas se encarga de eso. El hervidor al ser completamente resistivo no necesita regulación de potencia.

El resto de componentes al tratarse de sensores electrónicos salvo el caso de la bomba, que presenta un consumo insignificante, no lo contamos para el dimensionamiento de la instalación.

Para los diferentes aparatos del túnel se necesitan 2 tomas de corriente alterna de 220 V, 2 tomas de corriente continua de 12 V y una toma de 5 V también de continua.

Las de 220 V serán para el variador de frecuencia y el hervidor de inmersión, las de 12 V serán para la bomba de agua y el circuito de acondicionamiento del sensor de velocidad, por último el de 5V será para el Arduino y los sensores que estén conectados a este. Todos estos elementos se conectarán a una regleta de enchufes que se instalara en la estructura del túnel. Los aparatos que se alimentan de continua irán conectados con sus respectivos transformadores.

Las secciones de los cables serán aquellas con las que venían los aparatos de fábrica.

La instalación eléctrica a la que se conecta la regleta de enchufes tendrá que tener las protecciones eléctricas que normalmente posee cualquier instalación. Tendrá que disponer de un interruptor general automático (GIA) para proteger de cortocircuitos, un interruptor diferencial (ID) que protege de posibles

derivaciones de corriente, además de las diferentes PIAs con las que cuente la instalación.

Cabe decir que los dos elementos que más peligro podrían ocasionar están protegidos, el ventilador con el variador de frecuencia y el hervidor de inmersión con un fusible térmico. Ambos también cuentan con conexión a masa.

4.3 Planificación

Cuando se presenta un proyecto de esta envergadura, con tantos frentes abiertos, es imprescindible organizar y planificar los tiempos de dedicación que se prevé que se empleara en cada una de las tareas que lo engloban, para así poder realizar el proyecto dentro del plazo de entrega o presentación. La realización de un planing al comienzo de un proyecto, sobre todo cuando lo integran varias personas, ayuda a organizar, repartir y priorizar tareas y también de visualizar de una manera global el recorrido de las distintas ramas del proyecto.

El planing no es algo estático, que una vez hecho al principio del proyecto no se pueda modificar, al contrario, conforme pasa el tiempo y se van realizando las tareas, se puede ir viendo si la previsión del tiempo de dedicación es demasiado optimista y se necesita más tiempo, o por si al contrario, sobra el tiempo previsto.

Las modificaciones del planing se deberán hacer siguiendo unos criterios que se deberán acordar junto a la primera versión del planing. Si se ha hecho una previsión optimista y el tiempo de dedicación de las tareas se dilatan en el tiempo más allá de lo previsto pueden darse dos casos: que la tarea carezca de prioridad y no hayan otras tareas que dependan de ella, o por el contrario, que si no se acaba esa tarea a tiempo retrasa el comienzo de la siguiente. En el primer caso carecerá de importancia y se podrá ampliar el plazo de término de la tarea. En el segundo caso se deberán tomar medidas que solucionen el problema, como que a esa tarea se dediquen más personas y medios que los anteriormente previstos. Al principio, cuando ocurren estos problemas, es muy importante volver a revisar el planing y en caso necesario, modificarlo. En el caso de que el tiempo de las tareas se haya sobredimensionado en exceso también puede modificarse el plazo de terminación e inicio de las siguientes tareas o añadir más.

En un proyecto con tantas ramificaciones como este, las tareas se deberán organizar por objetivos. Los objetivos en el caso de este proyecto puede ser por ejemplo la fabricación del molde, dentro de este objetivo vendrían las tareas de búsqueda de información, diseño, compra de material, fabricación de las piezas y montaje. En este caso es preferible que una misma persona o grupo de personas formen parte, si no de todas, de la mayoría de las tareas ya que después de recoger, si es necesario, información de cómo hacerlo y diseñar el molde quien mejor que ella o ellas sean las encargadas de fabricar las piezas y montarlas, o al menos supervisar el proceso.

[illegible]

Otro aspecto importante de un planing, que ayuda al correcto desarrollo del proyecto, es que se diferencien los tipos de tareas según sus características aparte de por su objetivo. En el planing que se ha realizado para este proyecto se diferencian 4 grupos de tareas, cada una con su código de color.

En verde las tareas de búsqueda de información, la cual, hoy en día, se realizan mediante conexión a internet. Por tanto, en el periodo que conlleva la tarea, se deberá tener algún punto en el que conectar el ordenador a un punto de conexión a la red.

Las tareas marcadas en negro requieren de algún tipo de taller donde se pueda trabajar con las debidas medidas de seguridad y tenga el espacio suficiente para manipular objetos de gran volumen como es el túnel.

Las tareas marcadas en rojo precisan que haya fondos en la cuenta del proyecto para poder realizar las compras necesarias. También en una gran parte de estas tareas se precisara de conexión a internet mediante la cual se ejecutaran las compras.

Por último, las marcadas en azul corresponden al resto de tareas, que no precisa más que un ordenador que al menos permita realizar simulaciones CFD o trabajar con programas de diseño de piezas.

Dependiendo del plazo de entrega del proyecto, de las personas que lo integren, el número de tareas enlazadas que existan, la duración media de estas o del ritmo de trabajo previsto, el planing se dividirá en un periodo de tiempo u otro. Pudiendo ser estos meses, semanas, días o hasta horas. En el caso de este proyecto el planing se ha dividido en semanas, al ser este espacio de tiempo el mejor para que cada uno pueda repartirse a lo largo de esta las tareas que se le han asignado. A su vez se hace una estimación de las horas que ocupe esa tarea para que así cada integrante pueda planificar su tiempo de forma más eficaz.

El proyecto tiene un plazo de entrega de 6 meses, o lo que es lo mismo 24 semanas.

Otro asunto que tiene que verse reflejado es que, a no ser que se trate de un proyecto a contrarreloj, tienen que existir espacios de tiempo consensuados en las que no se asigne ninguna tipo de tarea. Estos espacios de tiempo pueden ser por ejemplo grandes festividades, en las que es mejor prever que nadie haga nada que equivocarse y que alguna tarea no se finalice o bajen la calidad del resto. En este planing está previsto un descanso de dos semanas en concepto de vacaciones estivales.

Entre todas las tareas suman un total de 209 horas a las que habría que sumar las horas dedicadas a la redacción de la memoria del proyecto y el tiempo dedicado a la presentación.

4.4 Memoria de fabricación

La fabricación de un túnel funcional es el gran reto de este proyecto. Dado el volumen y la geometría del túnel, además de la utilización de materiales y técnicas se antojaba desde un principio complejo lograrlo. Si al túnel se le suma la balanza y la máquina de humo, el llevar el diseño del papel a la realidad hace de la fabricación un punto crítico en el desarrollo del proyecto. Aunque crítico, el proceso de fabricación supone una sólida base de experiencia, más cuando se realiza por primera vez.

Detrás del proceso de fabricación debe de haber un estudio sobre el diseño y elección de materiales, herramientas, técnicas, medidas de seguridad y otros puntos a tener en cuenta.

Cualquiera de los puntos que comprenden la preparación puede hacer, en el caso de que se hayan llevado mal a cabo, un fracaso del proceso de fabricación. Un fracaso en el proceso de fabricación supone, además del retraso del proyecto, la pérdida de material.

La pérdida de material puede suponer hacer frente a un gasto no previsto y esto conllevar a la suspensión del proyecto por falta de fondos.

A parte de la técnica en la explicación de la fabricación se incluirán los materiales y herramientas que en allá se utilizaran.

Ante todo, el proceso de fabricación debe garantizar la seguridad de aquellos que realicen el trabajo práctico. En este proyecto se utilizan productos químicos, se crean partículas en suspensión y se utilizan herramientas que pueden llegar en algún caso a que alguna persona sufra un accidente de consideración.

Por ello en la preparación del proceso de fabricación se incluirán medidas de seguridad particulares a la tarea que se realice, medidas complementarias a las medidas de seguridad generales que se deben cumplir en cualquier tipo de trabajo (botiquín, ropa y calzado de seguridad, superficie de trabajo donde se puedan fijar los objetos...).

El proceso de fabricación del túnel de viento se divide en cinco bloques fácilmente diferenciables, tres corresponden al túnel en sí y los dos restantes a instrumentos complementarios a el que son los encargados de permitir realizar los ensayos.

Molde

El molde (Fig. 7, 8 y 9) que en realidad consta de tres partes realiza la función de servir como superficie de apoyo sobre la cual colocar tela de fibra de vidrio impregnada de resina y en la que se secara y adquirirá su rigidez final para luego ser separada tomando como elemento útil el almacén de fibra.

Por lo tanto el molde quedara relegado a utilizarse para futuros proyectos sin tener una presencia en el producto final.

La fabricación del molde supone, sin duda alguna, el gran reto constructivo del túnel, no tanto por la complejidad si no por el compromiso que supone el no cometer ningún error importante sobre él.

Y es que el molde marcara la geometría final del túnel, y un error en el molde que se pase por alto hasta después de colocar la fibra puede suponer un fracaso que suponga la pérdida de tiempo y material.

Materiales

- 25.8 m² de panel de aglomerado de 2 cm de grosor.
- 17.74 m de listones de madera de 3x3 cm de sección.
- Clavos para pistola de clavos de 2.5 cm de largo
- Grapas de 1 cm de largo
- Plancha de policarbonato de 6 m² y 5 mm de grosor.
- Cola de carpintero

Herramientas

- Pistola de clavos neumática.
- Grapadora neumática.
- Metro.
- Escuadra.
- Tenazas.
- Sierra de calar.
- Lápiz.
- Cincel de 2 cm de ancho.
- Martillo.
- Lija de grano medio.
- Sargentos.

Medidas de seguridad

- Mascarilla contra el polvo.
- Guantes de carpintero.
- Gafas protectoras.

Las tres partes del molde que se deben de fabricar corresponden al cono de aceleración, el estabilizador y el difusor.

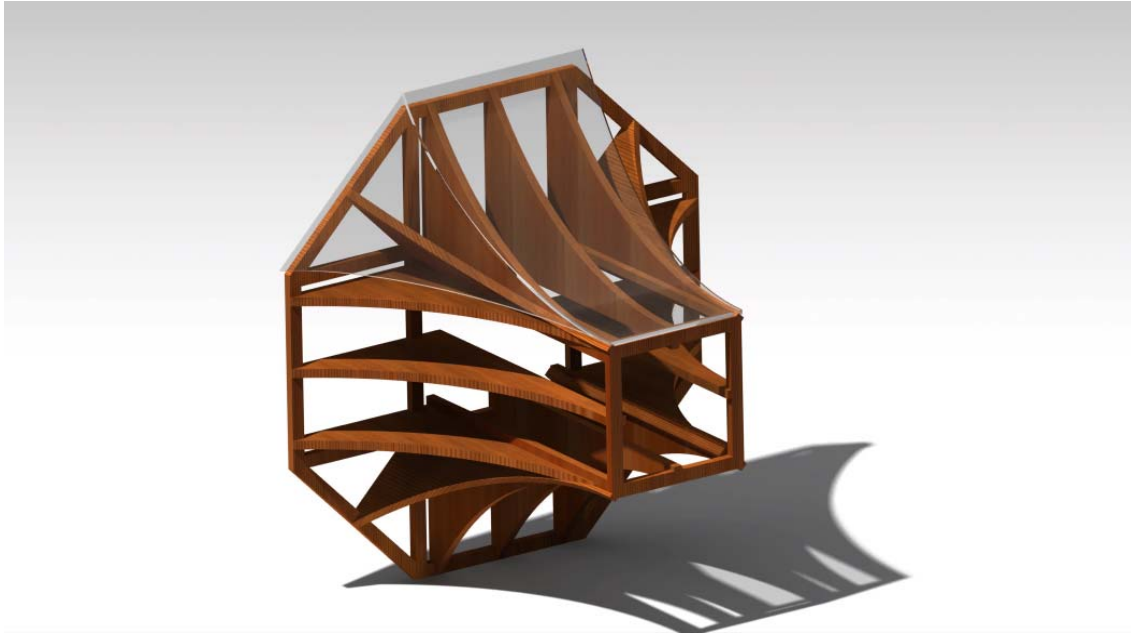


Figura 7 – Molde para el túnel de viento

1. Empezamos construyendo primero la base octogonal y la sección cuadrada superior.
2. Marcamos los listones de tal manera que tengamos en total 4 divisiones de 108,6 cm, 8 divisiones de 45 cm y 4 de 35 cm.
3. Las cortamos con la sierra de calar.
4. Creamos las uniones a media madera de esquina para formar dos rectángulos de 108,6x45 cm.
5. Para ello marcamos en la en el los extremos perfiles de los listones "cajones" de 3x1,5 cm.
6. Cortamos con la sierra de calar las marcas.
7. Presentamos los cuatro listones y con la escuadra nos aseguramos que forman un rectángulo.
8. Encolamos las uniones y lo clavamos.
9. Seguimos los mismos pasos para el segundo rectángulo.
10. Presentamos ambos rectángulos en cruz y nos aseguramos de que estén centrados entre si y a escuadra.
11. Marcamos para crear el mismo tipo de unión solo que esta vez no serán en los extremos.
12. Esta vez los cortes a lo ancho se realizan con la caladora y el corte a lo largo lo hacemos con cincel y martillo.
13. Lijamos el interior de la unión para que quede una superficie uniforme pero no completamente lisa.
14. Volvemos a presentar ambos rectángulos en cruz, los escuadramos, encolamos y clavamos.
15. Presentamos sobre la cruz los listones restantes de 45 cm de forma que se cierre el octágono.
16. Marcamos en los extremos el ángulo de listón que sobra y lo cortamos con la sierra de calar.

17. Lo volvemos a presentar, encolamos las uniones y las clavamos.
18. Con los listones de 35 cm fabricamos un marco siguiendo los mismos pasos con los que hemos hecho el anterior rectángulo.
19. Marcamos sobre el panel de aglomerado una de las piezas que irán colocadas verticalmente.
20. Cortamos la pieza con la sierra de calar.
21. Con esta pieza marcamos las 15 restantes.
22. Vamos presentando una a una las piezas que irán sobre la cruz de la base y marcamos donde se intersecciones con los listones para crear las uniones.
23. Esta vez solo haremos el corte en estas últimas piezas. Los listones deben encajar totalmente dentro de las piezas.
24. Empezamos encolando, encajando y encolando las piezas que irán en las esquinas del marco superior.
25. Cortamos las piezas verticales para que encaje el marco.
26. Encolamos, encajamos y clavamos el marco.
27. Terminamos de colocar las restantes piezas que van sobre la cruz.
28. Ahora presentamos en su posición las piezas sobrantes y marcamos lo que sobra de la pieza.
29. Cortamos el sobrante de las piezas.
30. Hacemos las uniones con la base de todas menos de una.
31. Menos esta ultima las colocamos en su posición.
32. Esta última pieza nos servirá de plantilla para hacer el resto de piezas que van a los laterales de estas últimas.
33. Medimos la profundidad que la estructura del molde les permite tener y esta medida la trasladamos a las piezas que vamos a hacer con la plantilla.
34. Marcamos todas las piezas y las cortamos.
35. Le hacemos las uniones con la base y las colocamos junto a la que hemos utilizado de plantilla.
36. Medimos las superficies laterales de la estructura.
37. Marcamos las medidas sobre las planchas de policarbonato.
38. Las cortamos con la sierra de calar.
39. Las presentamos y las grapamos a la estructura.

Estabilizador

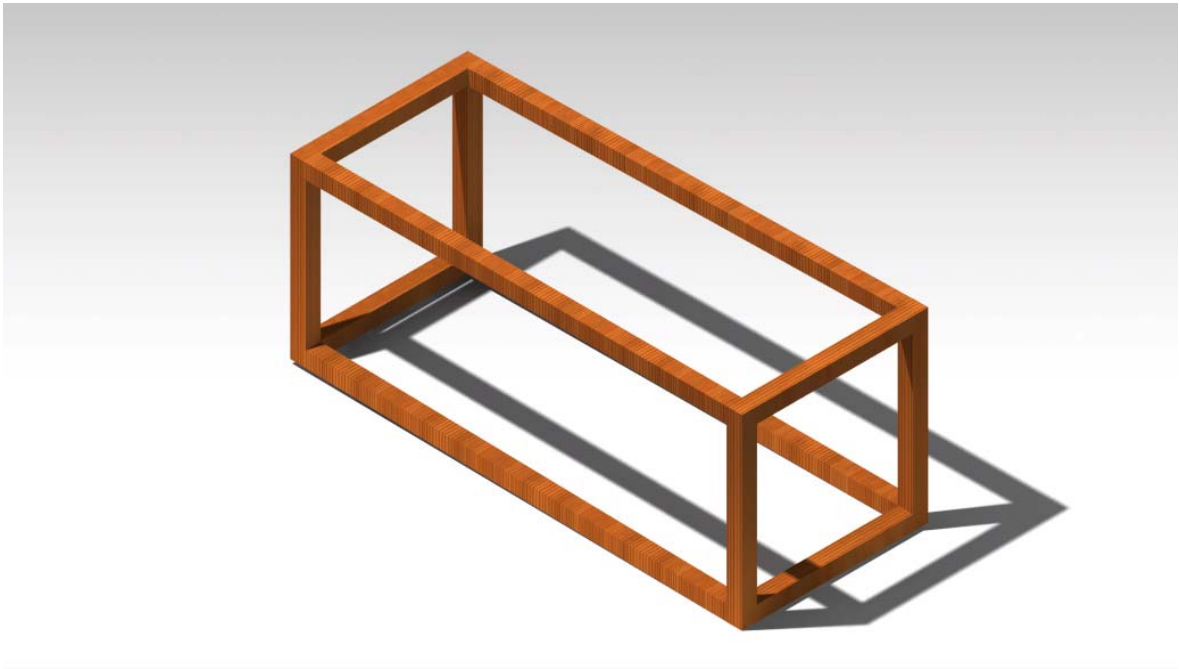


Figura 8 – Estabilizador del túnel de viento

1. Marcamos los listones de tal manera que tengamos 8 divisiones de 35 cm y 4 de 46 cm.
2. Cortamos los listones con la sierra de calar.
3. Construimos dos marcos de 35x35 siguiendo los mismos pasos que en el anterior molde.
4. Encolamos y clavamos en las esquinas de los marcos los listones de 46 cm en posición perpendicular a la base.
5. Encolamos y clavamos el segundo marco de la misma forma que el anterior.
6. Marcamos sobre la plancha de policarbonato las superficies laterales de la estructura.
7. Cortamos con la sierra de calar las piezas.
8. Presentamos las piezas y las grapamos en su posición.

Difusor

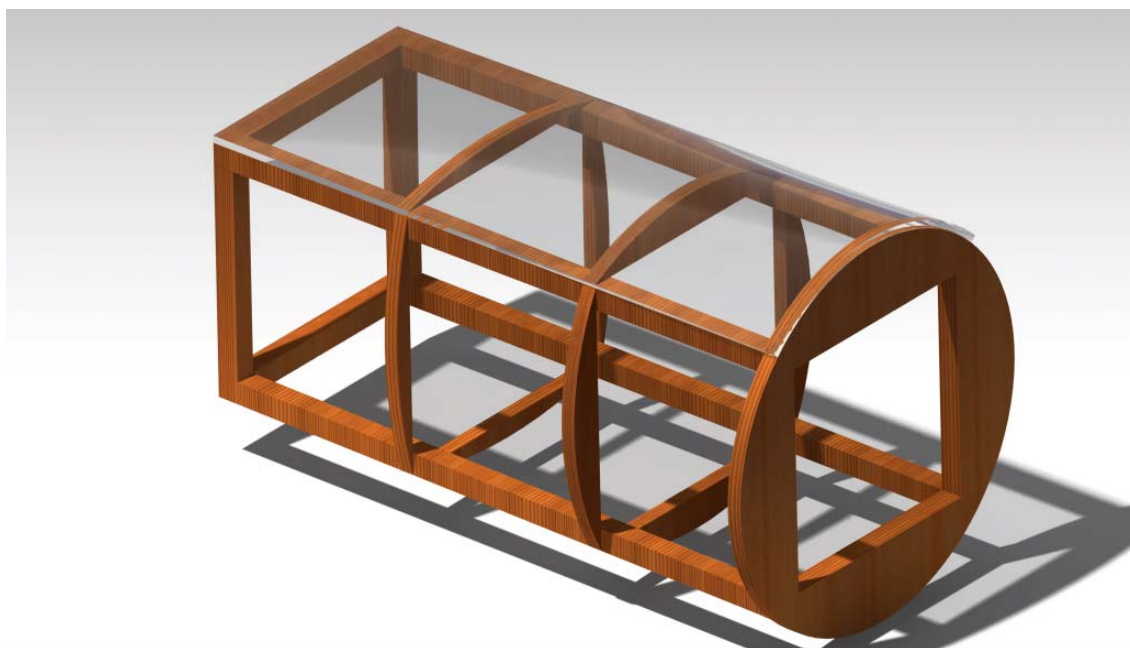


Figura 9 – Difusor del túnel de viento

1. Marcamos los listones de tal manera que haya 4 de 92 cm, 4 de 35 cm y 45 cm.
2. Cortamos con la sierra de calar.
3. Con los cuatro listones de 35 cm y con los cuatro de 45 creamos dos marcos siguiendo los pasos descritos en el la sección del molde del cono de aceleración.
4. Encolamos y clavamos los listones de 92 cm al marco de 35 pero con un solo clavo, de forma que quede sujeto al marco pero tenga cierta libertad de movimiento.
5. Por el otro extremo de los listones encolamos y clavamos el marco restante.
6. Terminamos de clavar el primer marco.
7. Dibujamos en las placas de aglomerado los arcos cerrados que formaran primero el círculo superior, además de las progresiones de círculo a cuadrado en los dos restantes. En total 12 piezas.
8. Las cortamos con la sierra de calar.
9. Las presentamos, encolamos y grapamos cada una en su posición.
10. Marcamos sobre las placas de policarbonato los laterales del molde.
11. Cortamos las piezas con la sierra de calar.
12. Grapamos primero la parte inferior, la más estrecha.
13. Doblamos la parte superior de modo que la parte superior de modo que la placa quede apoyada sobre los arcos y la mantenemos en esa posición.
14. Grapamos la placa a las piezas sobre las que se apoya.
15. Repetimos el procedimiento con las placas restantes.

Consejos

- El primer consejo es el famoso mide dos veces y corta uso de fabricación.
- Si se deben cortar varias piezas iguales, primero marcamos y cortamos una y verificamos que la pieza se adapta a las demás piezas ya colocadas en el caso de que las hubiese. No cometer el error de marcar y cortar todas para que después no sirva ninguna.
- Clavar y encolar cuñas de madera o atornillar ángulos en las uniones a escuadra, primero para verificar la escuadra y segundo para reforzar la estructura.
- Al cortar policarbonato tener en cuenta que por la fricción el plástico se funde y enfría rápidamente creando una especie de hilo que puede atascar la caladora, lo mismo pasara al taladrar el metacrilato.
- Además de grapar es aconsejable poner entre la estructura y la placa de policarbonato algún tipo de pegamento de contacto.

Experiencias

- El primer consejo lo damos dado que en la fabricación de la estructura del molde del cono de aceleración se cometió el error ahí descrito.
- A colocar la segunda placa de policarbonato sobre la estructura del difusor, la primera comenzó a desclavarse debido a la tensión que sufría por la geometría de la estructura. Se pensó en utilizar un plástico más flexible, pero aun tensándolo no se mantenía rígido y se combaba. Finalmente se decidió por utilizar placas de cartón yeso. Introducimos estas placas durante toda una noche en una bañera rellena de agua para que absorbieran esta y se ablandasen y se pudiesen manipular de manera más fácil. Finalmente las clavamos al día siguiente aun mojadas.

Cuerpo del Túnel

Una vez acabados todos los moldes se procede a empezar a colocar la fibra de vidrio y los perfiles de aluminio que servirán de unión entre las secciones.

Materiales

- 6 m² de fibra de vidrio 200.
- 6 m² de fibra de vidrio 400.
- 3 botes de 5 litros de resina de poliéster con su correspondiente acelerante.
- 5 litros de pintura TopCoat con su correspondiente acelerante.
- 9 metros de perfiles de aluminio en L de 2x2 cm.
- Bote de 1 kg de cera de barco.
- Bote de 2 kilos de masilla con su correspondiente acelerante.
- 1 bote de spray de pintura.
- Cinta de carroceros.
- Esponja.
- Disco de lija para amoladora.
- Disco de metales para amoladora.
- Cuerda fina.
- Acetona.
- Recipiente para mezclar resina y bandeja para utilizar mientras se aplica.
- Recipiente para mezclar pintura y bandeja para utilizar mientras se aplica.
- Bandeja para mezclar y aplicar masilla.

Herramientas

- Jeringuilla.
- Rodillo de anillas metálicas.
- Brochas de varios anchos.
- Amoladora.
- Pletina metálica.
- Sargentos.
- Tijeras.
- Rotulador.

Medidas de seguridad

- Mascarilla.
- Guantes de limpieza.
- Gafas protectoras.
- Realizar este proceso de fabricación en un espacio abierto o bien ventilado.
- Tener en cuenta la exotermicidad que el catalizador confiere a la mezcla con la resina.

El proceso del cuerpo del túnel (Fig. 10) es aplicable para cualquiera de las tres secciones por igual.

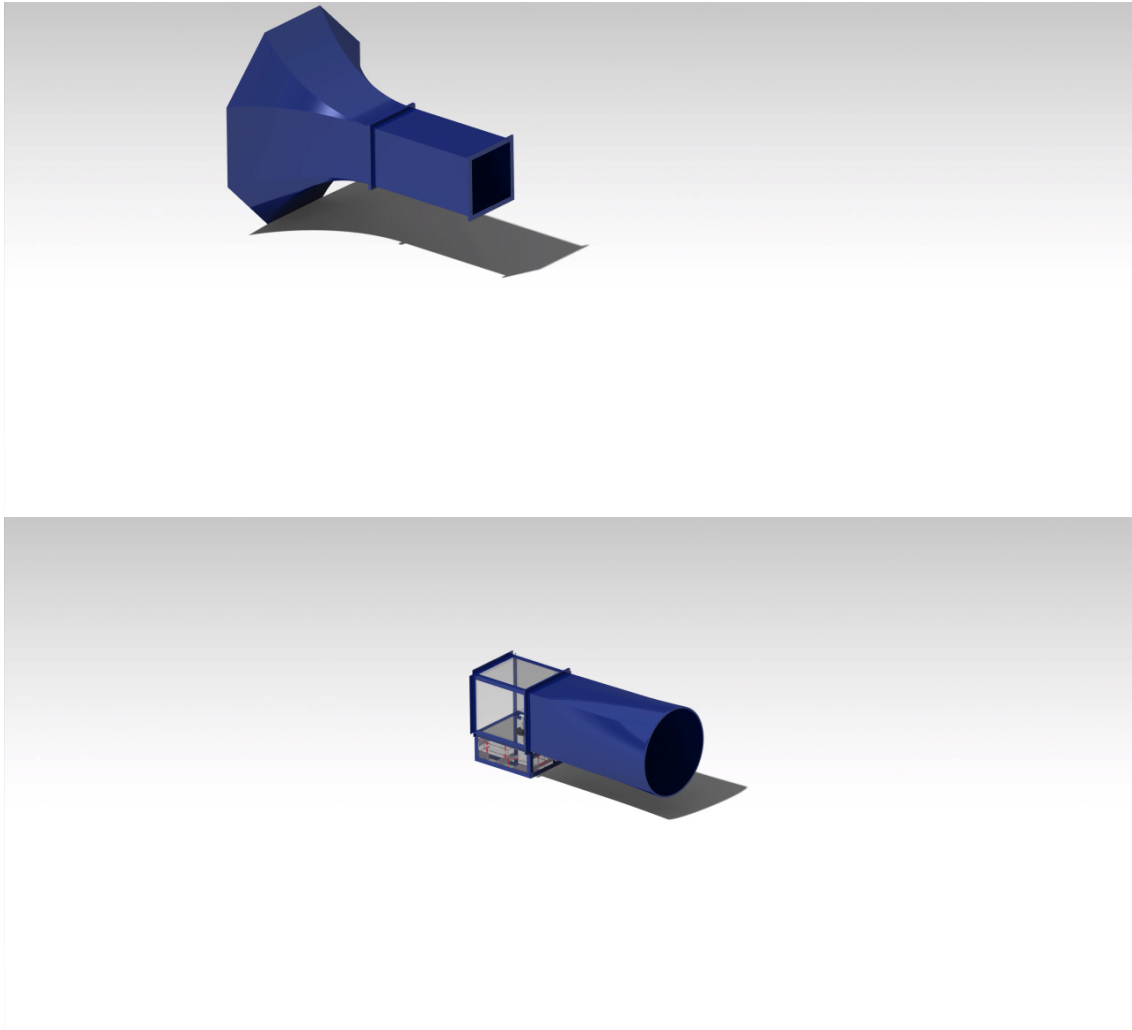


Figura 10 – Cuerpo del túnel de viento

1. Colocamos el molde en el lugar donde podamos trabajar sobre el pero también donde podamos dejarlo para que la fibra se seque.
2. Preparamos las superficies de policarbonato con cera de barcos aplicándola con una esponja.
3. Dejamos que se seque un poco y repetimos la acción una o dos veces más. Esta cera ayudara a que se desmolde la pieza de fibra del molde. Asegurarse de que no queda ningún espacio sobre el que no se haya aplicado cera.
4. Cortamos la tela de fibra 200 en trozos rectangulares de al menos 15x15 cm. Empezamos cortando solo algunos trozos. A medida que avanzamos veremos las medidas que son más cómodas de colocar.
5. Vertemos la resina en el recipiente de mezcla. Es recomendable empezar con pequeñas cantidades, medio litro por ejemplo.
6. Con una jeringuilla tomamos el tanto por ciento de catalizador correspondiente al volumen de resina vamos a utilizar, este dato debe aportarlo el fabricante. Normalmente suele estar entre el 1,5% y el 2%

dependiendo de la temperatura del ambiente y lo rápido que se desee que se endurezca la resina. Cuanto más catalizador antes endurecerá la resina y este efecto aumenta cuanto más temperatura haya. Se recomienda empezar, habiendo una temperatura de entre los 18 y 23 grados centígrados en el ambiente, con un porcentaje de 1,7 %.

7. Vertemos el catalizador del interior de la jeringuilla al recipiente de la mezcla y mezclamos durante un par de minutos para luego dejar reposar.
8. Cuando veamos que cambia de color, en el caso de la resina aquí empleada del tono azul inicial a un tono marrón, la resina ya está preparada para poder aplicarse.
9. Vertemos la mezcla en la bandeja. Se dispondrá de 10 a 15 minutos de tiempo para poder aplicar esta mezcla.
10. Colocamos el trozo de fibra sobre la superficie de policarbonato que queramos cubrir.
11. Mojamos la punta de la brocha en la resina y la aplicamos realizando suaves golpes sobre la fibra hasta que esta quede completamente impregnada del líquido. Si se arrastra la brocha también se arrastran los hilos de fibra.
12. Después de colocar cada pieza repasar con el rodillo de anillas metálicas para evitar que se produzcan burbujas.
13. Repetimos la operación colocando más trozos superponiéndolos unos de otros de 1 a 3 cm hasta cubrir toda la superficie del molde.
14. A lo largo de todo este proceso cortar cuanto tela y preparar cuanto mezcla de resina sea necesaria.
15. Una vez cubierto el molde con una primera capa lo dejamos secar, a poder ser sin moverlo de su sitio, al menos 24 horas.
16. Después de acabar de utilizar el rodillo y la brocha, introducirlos en acetona para que la resina no los inutilice.
17. Pasadas las 24 horas de secado inspeccionamos la superficie buscando alguna imperfección como burbujas para eliminarlas por completo con la amoladora, al resto de la superficie se la pasamos con cuidado para eliminar los hilos de fibra que sobresalgan mucho. Estos hilos al colocar otra capa de fibra sobre ellos pueden provocar que se formen burbujas.
18. Si hemos eliminado alguna burbuja, al ser la primera capa, debemos de volver a encerar la superficie del molde que ha quedado descubierta antes de volver a cubrirla con fibra.
19. Marcamos y cortamos con la amoladora y el disco para metal los perfiles de aluminio en piezas de 35 cm, cortaremos para esta fase de fabricación 16 piezas en total.
20. Empezamos a cubrir de nuevo la superficie siguiendo los mismos pasos que en la primera capa.
21. Antes de cubrir los extremos del molde donde irán las uniones con las demás secciones, presentamos los perfiles de aluminio.
22. Sosteniendo el perfil en su posición, cubrimos la superficie que está en contacto con la fibra con más fibra, esta zona la reforzamos con más fibra que de normal.
23. Sin dejar de sostener el perfil cogemos alguna una tira de policarbonato con la longitud y un poco más ancha que el perfil y la enceramos para después junto con un listón de madera ponerlos sobre la parte del perfil cubierta con fibra. Aprisionamos todo contra el molde con un sargento.

24. Después de esto dejamos secar otras 24 horas y volvemos a inspeccionar y lijar las imperfecciones.
25. Una vez que está seco y lijado procedemos a desmoldar la carcasa de fibra. Vamos separando poco a poco por los extremos la fibra del molde utilizando la pletina para ayudarnos, esta tiene que tener la longitud para llegar al menos a la mitad del molde, con cuidado de no estropear la fibra.
26. Una vez desmoldadas las carcasas de fibra, cortamos los perfiles de aluminio que irán colocados longitudinalmente con el fin de reforzar aún más la estructura.
27. Una vez cortados los pintamos con la pintura spray dándole al menos dos manos de pintura dejándolos secar entre ambas.
28. Preparamos resina y con ella pegamos los perfiles en su posición. Mientras los pegamos los sostenemos con cinta de carroceros. Una vez pegados todos los rodeamos con la cuerda fina y dejamos secar.
29. Preparamos la masilla de la misma forma que la resina, solo que esta vez la cantidad de catalizador vendrá en proporción del peso y no del volumen. Mezclamos hasta que esta adquiera un color uniforme.
30. Una vez mezclada empezamos a aplicarla sobre las superficies que lo precisen. Si no se tiene algún problema cutáneo o similar es preferible aplicarlo directamente con la mano, de no ser así la espátula es una buena herramienta para tal efecto.
31. Con la masilla también reforzamos partes críticas como esquinas o las superficies y huecos alrededor de los perfiles de aluminio.
32. Dejamos secar, con 5 o 6 horas suele ser suficiente para trabajar sobre la masilla.
33. Lijamos con la amoladora para dejar a superficie uniforme y lisa.
34. De ser necesario volvemos a aplicar masilla y posteriormente volver a lijar.
35. Una vez este la superficie preparada, cubrimos los perfiles de aluminio con cinta de carroceros para protegerlos de la pintura.
36. Preparamos la pintura de manera exacta a la resina, solo que el indicativo de que está preparada es que aumenta el espesor.
37. Cubrimos las superficies de pintura con la brocha. Una vez terminado dejar la brocha en acetona.
38. Dar una o dos manos más.
39. Una vez seca la pintura quitar la cinta de carroceros.

Consejos

- Tanto para la resina, masilla y pintura, en cuanto se empiezan a formar grumos el producto es inservible por lo que no se debe utilizar. Cuando esto pase verter el producto en un recipiente inservible y dejarlo aislado de cualquier producto u objeto inflamable. Gracias al catalizador la mezcla puede llegar a ser muy exotérmica, alcanzando temperaturas considerables.
- Al manipular una superficie de fibra de vidrio ya seca y sin lijar, tener cuidado con los hilos de fibra que no queden sobresaliendo de la superficie, ya que se pueden clavar como astillas de madera.
- Si no se está acostumbrado a llevar mascarilla es aconsejable descansar de ella alejándose del lugar de trabajo y respirando varios

minutos sin ella, de otra forma puede resultar incómodo llevarla largos periodos.

- Para todo este proceso es muy recomendable llevar ropa de trabajo que cubra todo el cuerpo. Las salpicaduras tanto de resina como de pintura resulta realmente complicado de quitar de las telas.
- Al dar una segunda capa de fibra, esta será más fácil de colocar si a la superficie se le da unos toques con la rocha untada de resina, de esta forma quedara fijado y se podrá seguir aplicando sin que se mueva.
- Siempre tener material de sobra, sobre todo con estos productos que resultan muy fáciles de estropearse.
- Cubrir las superficies de trabajo con un plástico.

Experiencias

- Cuando se empezó a poner fibra sobre el primer molde, en las primeras dos mezclas se puso demasiado catalizador y prácticamente 2 litros se tuvieron que tirar, se vertió la mezcla en el cubo de desecho de materiales del taller en el que se estaba trabajando. Pasado un rato, del cubo comenzó a salir humo. En ese momento fuimos conscientes de la verdadera exotermicidad de la mezcla. Esto pasa sobre todo cuando se deja secar mucho producto junto, en pequeñas cantidades no llega a alcanzar tanta temperatura.
- Se aconseja que no se mueva el molde ya que al mover el del estabilizador se desprendió todo un lateral de fibra.
- Por trabajar despacio y sin atender al producto se ha perdido mezclas tanto de resina, como de pintura y masilla.
- También tuvo que ver a que el proyecto se realizó en verano y en el caso de la pintura y masilla, bajo el sol.
- Por no comprar acetona se utilizaron alrededor de docena y media de brochas en todo este proceso.
- Por no asegurar bien los sargentos, que aprisionaban la fibra y el perfil de aluminio al molde, las uniones han terminado por quedar por quedar descuadradas y desniveladas.
- Una vez terminado este proceso, el ventilador y la carcasa se encontraban almacenados. El ventilador se encontraba de pie sostenido por la estructura que se le había instalado cuando por dejarlo mal apoyado se cayó sobre el cono de aceleración, tirándolo al suelo y despegando todos los perfiles como las uniones. La fibra de vidrio sufrió solo una pequeña grieta.

Cámara

En esta última sección del túnel (Ver Fig. 11) utilizaremos una técnica y unos materiales de construcción diferente a los que hemos utilizado anteriormente, el proceso de fabricación será más corto y de menor dificultad técnica.

Materiales

- Tornillos y tuercas de 6 mm de diámetro.
- 4 placas de 35x40 cm de metacrilato de 1 cm de grosor.
- 4.4 m de perfil de aluminio en L de 2x2 cm.
- Remaches para uniones de 0,8 a 1 cm.
- Broca de 5 y 6 mm para metales.
- Disco de amoladora para hierro.
- Junta de goma para ventanas.

Herramientas

- Remachadora.
- Taladro.
- Sargento.
- Amoladora.
- Rotulador.

Medidas de seguridad

- Ninguna medida de seguridad a tomar en particular.

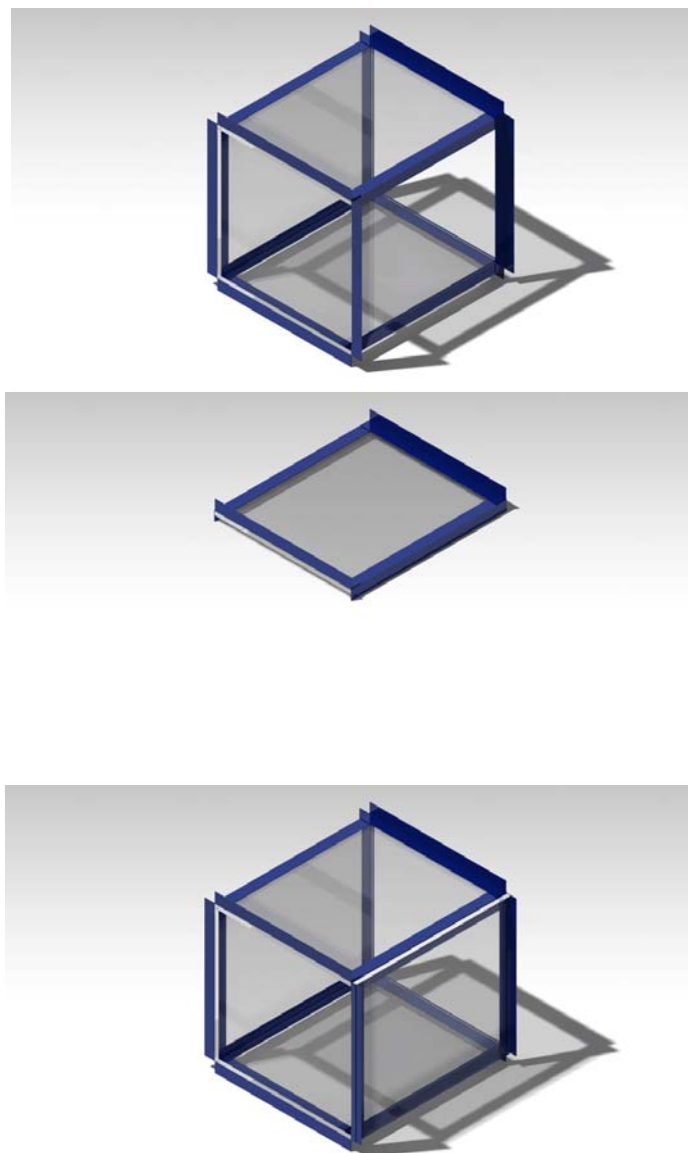


Figura 11 – Cámara del túnel de viento

1. Cortamos el perfil de aluminio de modo que tengamos 8 piezas de 35 cm y 4 de 40 cm.
2. Tomamos uno de los perfiles de 40 cm y marcamos sobre el la posición donde van a ir los agujeros para unirlos con remaches a la placa de metacrilato a una de las caras del perfil. En este caso con tres o cuatro son suficientes. Hacemos lo mismo con los de 35 cm.
3. Marcaremos todos los perfiles menos en 2 caras de 2 perfiles de 40 cm, ya que entre esos dos perfiles ira la compuerta.
4. Taladramos con la broca del 5 los perfiles.
5. Presentamos uno a uno los perfiles y marcamos los tres de los cuatro metacrilatos.
6. Taladramos los metacrilatos con la broca del 5.
7. Tomamos una de las placas y presentamos el primer perfil. Los de 40 cm servirán para unir los metacrilatos entre si y los de 35 cm para unir las

- secciones entre sí. Así que, sobre la misma cara del metacrilato los de 40 cm tendrán una orientación hacia abajo y los de 35 cm hacia arriba.
8. Tomamos la remachadora y nos aseguramos que la boca de esta es del diámetro de las puntas de los remaches.
 9. Introducimos el extremo de la remachadora través de ambos orificios y apretamos el gatillo de la remachadora hasta el final del recorrido y soltamos.
 10. Sin retirar la remachadora volvemos a apretar el gatillo de esta para que corte la punta del remache.
 11. Remachamos los perfiles restantes en la misma placa.
 12. Colocamos una placa de metacrilato apoyada a uno de los perfiles de 40 cm y lo remachamos. Remachamos los demás perfiles sobre esta última placa.
 13. Repetimos esta última acción con una tercera placa de metacrilato y sus respectivos perfiles.
 14. En este punto del proceso tendremos una placa y dos perfiles de 35 cm sin colocar.
 15. Presentamos los perfiles en la posición que deban ir y marcamos en los extremos de los perfiles de 35 cm los agujeros que haremos para unirlos a los de 40 cm.
 16. Agujerearemos ambos perfiles de 35 cm y los otros dos de 40 cm y los remachamos.
 17. Presentamos la placa sobre donde debe ir y marcamos la posición de los agujeros tanto en la placa como en los perfiles. Recordemos que estos orificios alojaran a los tornillos con sus respectivas tuercas que habrán que quitar para abrir la cámara. Con dos o tres tornillos por lado será suficiente.
 18. Agujereamos la placa y los perfiles con la broca del 6.
 19. Colocamos las juntas en la línea de los orificios pero sin tapar estos.
 20. Colocamos la placa y la atornillamos a la tuerca que ira alojada en el interior de la cámara.
 21. Tomamos la masilla de soldaje en frio. La que se ha utilizado en este proyecto es de dos componentes de diferentes colores, los cuales hay que mezclar a partes iguales.
 22. Empezamos mezclando una pequeña cantidad. Este tipo de masilla está preparada cuando su color es uniforme.
 23. La aplicamos rodeando a la tuerca pero sin tapar su orificio ni tocar el tornillo.
 24. Repetimos la acción para todas las tuercas.
 25. Dejamos reposar al menos 12 horas sin manipular los tornillos.

Consejos

- Si no se ha remachado nunca, hacer una prueba en un material de desecho. Esto viene bien para acostumbrarse a la fuerza que hay que aplicar al gatillo.
- Hacer fuerza sin mover el antebrazo ni aplicar otra fuerza que no sea la de apretar con la mano.

Experiencias

- Se aplicó una fuerza al gatillo de la remachadora sin mantener este perpendicular a la placa, esto provoco que se rompiera un trozo de una placa de metraquilato.

Máquina de humo

La máquina de humo (Ver Fig. 12) es uno de los instrumentos que mayor particularidad da al proyecto y su proceso de fabricación también comparte este hecho.

Materiales

- Termo de aluminio de 1,5 litros
- Cantimplora de aluminio de 1 litro.
- Bomba de agua de pequeñas dimensiones.
- Broca del 10, del 6 y del 2 para metales.
- Hervidor de inmersión.
- Masilla de soldaje en frio.
- Manguera de acuario de 6 mm.
- Pegamento de contacto.

Herramientas

- Taladro.
- Lima de metales.
- Tenazas.
- Mechero.
- Pinzas.

Medidas de seguridad

Ninguna medida de seguridad en particular más allá de las observadas por el fabricante de la máquina.

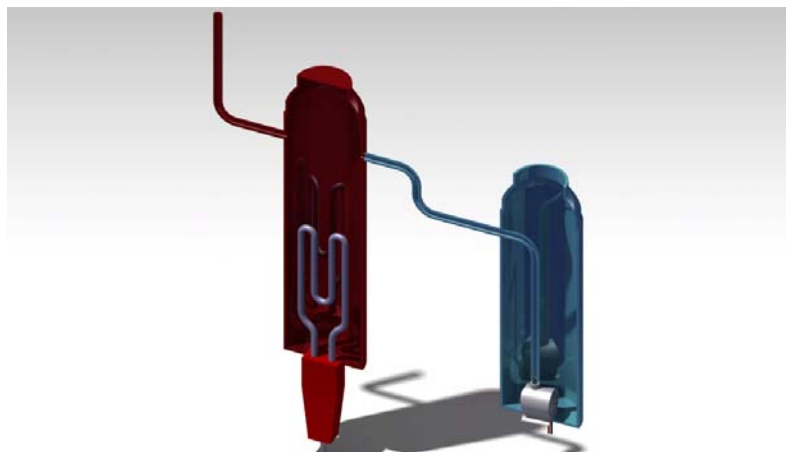


Figura 12 – Máquina de humo del túnel de viento

1. Cortamos el cable del hervidor y retiramos el disipador de calor.
2. Empezamos taladrando la base del termo, primero con la broca del 6 y después a del 10.
3. En el caso de este proyecto, el termo utilizado tiene tres capas que han sido atravesadas por el taladro.
4. Taladramos y limamos el termo hasta que el hervidor se pueda introducir desde el interior hasta la posición que se desee.
5. Llegado ese momento cerramos las tres capas del orificio creando una pared de masilla y dejamos secar.
6. Una vez seca la masilla introducimos el hervidor en su posición final y con masilla cerramos los orificios que queden con masilla desde la base.
7. Hacemos otros dos orificios en termo con la broca del 6 en las posiciones donde irán las mangueras de entrada de líquido y de salida de los gases.
8. Tapamos las capas del interior de ambos orificios con masilla y dejamos secar.
9. Introducimos las mangueras por los orificios y las sacamos por la boca del termo.
10. Calentamos las puntas de las mangueras para reblandecerlas y con las pinzas las introducimos y abrimos para así ensanchar el extremo de la manguera.
11. Dejamos las mangueras en su posición final y por el exterior del termo rodeamos la junta con masilla.
12. Dejamos secar.
13. Ahora tomamos la cantimplora y realizamos un orificio con la broca del 6 en la posición donde ira la manguera de salida de líquidos.
14. Tomamos la manguera de entrada de líquidos y la introducimos por el orificio que hemos realizado en la cantimplora y lo sacamos por su boca para conectarlo con la bomba.
15. Introducimos y pegamos la bomba a la base interior de la cantimplora teniendo en cuenta la entrada y salida de agua de la bomba.
16. Sellamos el orificio y dejamos secar.
17. Hacemos un agujero con la broca del 2 a la base de la cantimplora y pasamos por el cable de la bomba.
18. Sellamos el orificio y dejamos secar.

Consejos

- Asegurarse bien de sellar las capas de los orificios del termo, sobre todo el de la base.

Experiencias

- Por no sellar perfectamente las capas del orificio de la base del termo, se filtró por ellas rápidamente la mezcla y la resistencia se quedó sin líquido que hervir por lo que al sobrecalentarse el fusible hizo su trabajo y abrió el circuito dejando inservible el hervidor.

CHAPTER 5. ESPECIFICACIONES DEL TÚNEL DE VIENTO

En este capítulo se presentan los diferentes documentos que complementaran la información del túnel de viento y los resultados de los estudios realizados con él.

5.1 Especificaciones técnicas

En este apartado se peresntan las especificaciones técnicas del túnel de viento una vez montado tal y como se ven en la Fig. 13 en su estructura móvil.

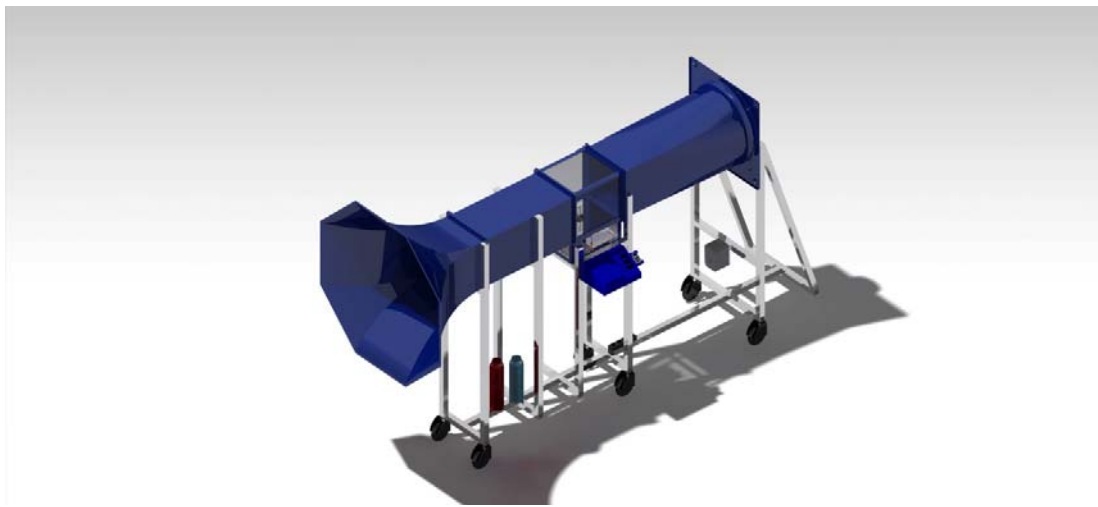


Figura 13 – Túnel de viento en su estructura móvil

Especificaciones generales

Longitud cuerpo del túnel: 2,3m
Longitud total del túnel: 2,85 m
Altura máxima del túnel: 1,95 m
Ancho máximo del túnel: 1,08 m

Peso del cuerpo del túnel: 25 kg
Peso del ventilador: 16 kg
Peso de la estructura: 15 kg
Peso Total: 56 kg

Alimentación eléctrica: Monofásica 220 V 50 Hz
Potencia total: 0,72 kW

Ventilador SODECA HC-50-6TH

Diámetro: 50 cm
Alimentación: Monofásicos 230V 50H y trifásicos 230/400V 50Hz.
Potencia: 0.37 kW
Velocidad: 940 rpm
Caudal Máximo: 8400 m³/h
Nivel de presión sonora: 59 dB.
Cuerpo de acero
Hélices plásticas reforzadas con fibra de vidrio
Rejilla de protección contra contactos según norma UNE 100250

Variador de frecuencia Powtech PT100

Source: 220 V 50/60 Hz
Output: 1,5 kW, 7A, 0-400Hz
Control de mando a distancia

Cuerpo del túnel

Fabricado en fibra de vidrio y aluminio.
Cono de aceleración octogonal de 1,16 m de alto y 0,7 m de largo.
Estabilizador de sección cuadrada de 0,35 m de lado y 0,7 m de largo.
Difusor de sección cuadrada de 0,35 m en un extremo y sección circular de 0,52 m de diámetro en el extremo opuesto. Tiene una longitud de 0,9 m.

Cámara

Estructura de aluminio y metacrilato de sección cuadrada de 0,35 m de lado y una longitud de 0,4 m.
Instalados sensores de presión temperatura y velocidad.
Instalada balanza de 6 grados de libertad.
Compuerta fijada por 6 puntos de 35x40 cm en pared de la cámara.
Velocidad máxima en la cámara de 19 m/s.

Estructura

Largo:
Altura máxima:
Anchura máxima:
Base de la estructura y soporte del túnel de tubo de sección cuadrada de 4x4 cm de acero.
Resto de la estructura construida de aluminio.
Posibilidad de alargar la estructura gracias a junta telescópica.
Ruedas con freno en 6 puntos.

Máquina de humo

Alimentación: Monofásica 220 V 50 Hz.
Potencia: 0,35 kW.
Recipiente calentador de 1,5 l.
Recipiente depósito de 1 l.
Bomba de agua en depósito.
Se alimenta de una mezcla de agua, glicerina y alcohol.

Panel de control

3 pantallas LCD.
3 modos de muestreo de datos: Características Flujo, Fuerzas Balanza, Momentos Balanza.
Apagado/ Encendido calentador.
Apagado/ Encendido bomba de agua.
Control de funciones del ventilador con mando a distancia del variador de frecuencia.

5.2 Diseño del manual de usuario

El manual de usuario es un documento que debe de acompañar a un sistema para que ayude, a través de una descripción técnica, a su utilización por parte del usuario.

Con el manual el usuario debe conocer y saber llevar a cabo las funciones que ofrece el túnel de viento, así como los procedimientos de mantenimiento, montaje y desmontaje, además de las medidas de seguridad principales que se deben de tomar.

A continuación se presentan los requerimientos que tendrá que cumplir el manual de usuario para la correcta utilización del túnel de viento.

Pasos a seguir para llevar a cabo un ensayo.
Encendido y parada del ventilador.
Cambiar la frecuencia de funcionamiento del ventilador.
Monitorización de los datos de los sensores.
Apagado/Encendido de calentador de la máquina de humo.
Apagado/Encendido de la bomba de agua de la máquina de humo.
Montaje del túnel de viento.
Mantenimiento del túnel de viento.
Procedimientos tras largos periodos de desuso.
Medidas de seguridad.

5.3 Ensayos para la calibración del túnel de viento

Los ensayos de calibración tiene como fin el poder certificar el buen funcionamiento del túnel atendiendo a que los resultados que se obtienen simulando este mismo ensayo con un programa CFD.

En nuestro caso, estos ensayos no se pueden realizar debido a que, en el momento de finalizar este informe, el túnel no está físicamente completo y resulta imposible presentar datos reales. No obstante podemos adelantar como se realizara una vez el túnel este operativo.

Para este ensayo de calibración vamos a utilizar como modelo de ensayo el perfil B737 con una inclinación de 6 grados. Nos apoyaremos en los resultados obtenidos en la simulación del interior del túnel del perfil 0,2.

Para el ensayo físico deberemos haber construido el modelo del perfil con algún material que no presente deformaciones ante un flujo de aire de 20 m/s y que su superficie sea uniforme y no porosa.

De los dos resultados obtenidos en la simulación, las magnitudes de velocidad y presión, optamos por calibrar el ensayo mediante las magnitudes de la velocidad.

Esto se debe al diseño y forma de medición de los sensores de velocidad y presión. El sensor de velocidad presenta una menor resistencia a un flujo de aire y su forma de medición resulta más cómoda que el sensor de presiones.

Para empezar el ensayo procederemos a colocar el modelo a escala del perfil sobre el soporte de apoyo de la balanza en la posición de 6 grados respecto al eje de la dirección del flujo del aire. Ponemos en marcha el motor a una frecuencia tal que en la salida del difusor haya una velocidad de flujo igual a la simulada en el programa Abaqus, 11 m/s.

Ahora medimos en distintas localizaciones alrededor del perfil según se ve en la Fig. 14, marcadas en la siguiente imagen.

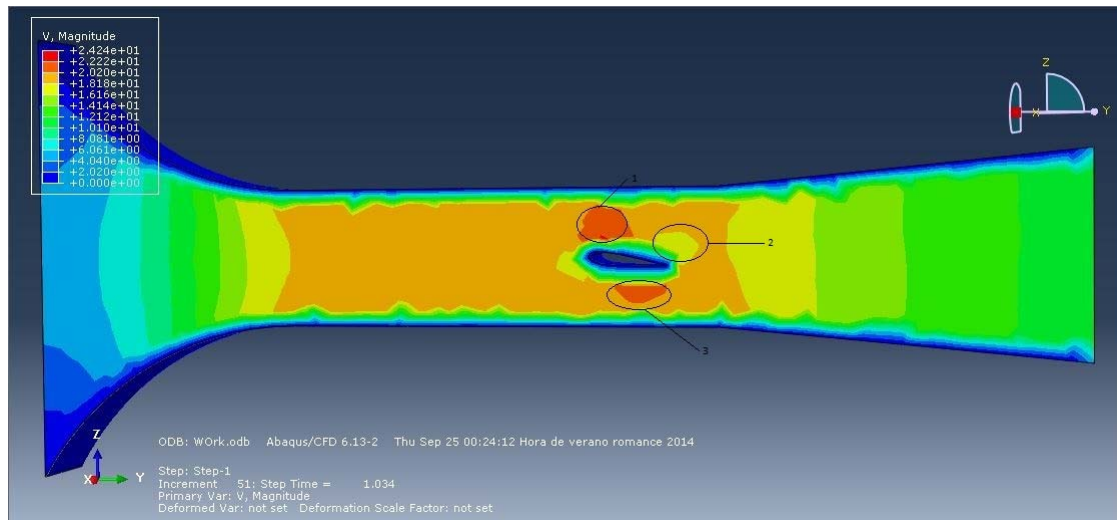


Figura 14 – Diferentes mediciones en el túnel de viento

Una vez tomadas las medidas, en las localizaciones marcadas y numeradas, las comparamos con las de la imagen de la simulación.

En las zonas n. 1 y 3 el flujo tiene una velocidad comprendida entre los 20,2 y los 22,2 m/s.

En las zonas n.2 el flujo tiene una velocidad comprendida entre los 16,1 y los 18,1 m/s.

Una vez comparadas las mediciones, si están dentro de los márgenes marcados podemos asegurar que el ensayo es correcto respecto a la simulación.

De no estar dentro de los márgenes, una o todas las medidas, se deberá estudiar las posibles causas que provocan esta situación y si pone en peligro la fiabilidad del túnel.

5.4 Ensayos tipo

Una vez calibrado y corregido los posibles errores encontrados en la simulación, podemos realizar un ensayo con la seguridad de que las medidas que se obtengan tendrán validez.

En este apartado vamos a realizar un ensayo con una maqueta de un modelo de coche en concreto como objeto de estudio. Como en el apartado anterior, debemos aclarar que no podemos dar los resultados reales de este ensayo debido a no haber finalizado la construcción del túnel.

En el ensayo vamos a medir el drag y el lift/downforce del vehículo. También mediremos el momento de yawing manteniendo para ello una de las puertas de la maqueta durante el ensayo. Por último veremos, con ayuda de la máquina de humo, el cambio en las líneas de flujo del coche con la capota puesta y retirada.

Primero, colocamos la maqueta sobre el soporte de la balanza asegurándonos de que las ruedas están en contacto con la superficie inferior de la cámara. Ponemos en marcha el ventilador a la frecuencia que provoque que en el interior de la cámara el flujo tenga la velocidad deseada. La frecuencia podemos controlar con la ruleta del mando del controlador y con la pantalla del mismo. La velocidad en el interior de la cámara la podemos controlar desde el panel de mandos presionando el botón B1 y fijándonos en la pantalla P1. Una vez fijada la velocidad presionamos el botón B2 para fijar el modo Fuerzas. Las pantallas en las que encontraremos la información correspondiente al drag y al lift son las P2 y P1 respectivamente. La medida del yawing la podemos controlar presionando el botón B3 y fijándonos en la pantalla P2.

Para introducir humo en el interior del túnel debemos de asegurarnos de que la resistencia del calentador está completamente sumergida en la mezcla, de no ser así activamos la palanca Z1 para llenar el depósito. Una vez lleno activamos la palanca Z2 para que se ponga en funcionamiento el calentador. Pasados unos minutos comenzará a salir humo, entonces activamos el ventilador a la frecuencia deseada y realizamos el ensayo con él la maqueta con y sin capota para poder observar los cambios de las líneas de flujo.

Estos datos, de haberlos, los comparamos con los datos del coche real.

CHAPTER 6. CONCLUSIONS

En el capítulo de las conclusiones se repasan los puntos del trabajo relevantes para la comprensión del trabajo realizado así como si el análisis del cumplimiento de los objetivos marcados al comienzo del proyecto.

6.1 Conclusiones generales

Este proyecto ha servido para definir los pasos que hay que seguir para el diseño y producción de un sistema, ya sea de un túnel de viento o no, ya sea algo físico o no, dejando constancia de las experiencias propias de un trabajo que se realiza por primera vez y sin experiencia anterior.

Se ha aprendido técnicas de fabricación nuevas que sirvan en un futuro para la realización de proyectos similares o no.

La inclusión de sensores de diferentes clases ha supuesto un reto que se a logrado superar gracias a una investigación sobre su utilización de cada uno de ellos, además de la forma de aunarlos todos en un sistema por medio de la programación.

Se ha conseguido gracias a programas informáticos la simulación tanto del flujo como del diseño, lo cual ha permitido que el desarrollo del proyecto se pudiese realizar apoyándose en los resultados que estos programas proporcionaban. Su uso a lo largo de todo el proyecto a incrementado la experiencia y conocimiento de estos programas.

6.2 Conclusiones

Se ha decidido que el túnel sea de lazo abierto, con cámara de ensayos cerrada y aspirado.

Se ha elegido como sensor de temperatura el termistor PTC DS1B20. Como sensor de presión el de tipo piezoresistivo BMP085 de Bosch. Como sensor de fuerza el de tipo resistivo SR4 de Fernell. Como sensor de velocidad el FS5 de Fernell. Finalmente como sistema de adquisición de datos se ha decidido utilizar la placa de Arduino MEGA 2560.

Existen distintos tipos de túneles en la zona, que realizan diferentes funciones dependiendo del tipo de ensayos para el que haya sido diseñado, siendo el más parecido al nuestro el Wind Tunnel 40-4kw.

Se ha elegido el ventilador HC506TH de la marca SODECA. Es un ventilador axial helicoidal, el cual se ha tenido que modificar para adaptarlo al proyecto.

La cámara será de sección cuadrada de 35 cm de lado y se utilizará metacrilato como material para sus paredes.

Se instalara bajo la camara una balanza de 6 grados de libertad y se utilizara la placa de Arduino para recibir sus señales.

El humo se genera gracias a un sistema que calienta hasta la ebullicion una mezcal de agua, glicerina y alcohol.

Aun siendo una herramienta muy util para nuestro proyecto, por su alto valor economico, se prescinde de la utilizacion de un tubo Pitot para la medicion de la velocidad del flujo.

A partir de las dimensiones y características de del ventilador, se diseñan las dimensiones de la camara que finalmente sera de 35 cm de lado. El flujo que recorra el interior de la camara tendra una velocidad maxima de 19 m/s. La seccion de la camara la compartira el estabilizador y un extremo del difusor y el cono de aceleracion cada uno. El difusor queda definido por la seccion de la camara y la del ventilador. La eleccion de la forma del cono de aceleracion mediante el programa Abaqus dan como mejor opcion al modelo numero 3, pero finalmente por motivos constructivos se decide por el modelo numero 1, de entrada ortogonal. Las longitudes de las secciones se deciden por tema de diseño y portabilidad, gracias al programa de diseño Catia, siendo estas de 70 cm, 70 cm, 40 cm, y 90 cm para el cono de aceleracion, el estabilizador, la camara y el difusor respectivamente.

Se certfica la validez del programa Abaqus para utilizarlo en las simulaciones que se realizan con fluidos dinamicos en este proyecto.

Se concluye, con ayuda de las simulaciones realizadas con el programa Abaqus sobre cuatro distintas escalas del perfil B737 a 6 grados de inclinacionen el interior del túnel, que el tamaño para ensayos de este tipo de modelos sea de entre 10 y 20 cm de distancia entre las tangentes paralelas entre si y entre la direccion de flujo, y de 18 a 36 cm entre el borde de entada y de salida.

Tras contabilizar los gastos derivados del material, herramientas y elementos electronicos, ademas de los derivados del transport de mercancías, un total de 1226,67 euros gastados en este proyecto. Este gasto no ha supuesto en ningun momento un peligro para la viabilidad del proyecto.

Se ha contabilizado un total de 0,72 kW que la instalacion a la que se conecte el tunel debe asumir. La instalacion a la que el tunel se conecte debera de contar con las conexiones y transformadores que los instrumentos requieran. La instalacion debera de tener los sistemas de seguridad que incluya al menos un GIA y un ID.

No se debera hacer ninguna modificacion sobre la potencia.

Tras contabilizar las horas que se han dedicado al tunel, ya sea investigando, comprando pieza, construyendolo y probandolo, se suma un total de 209 horas.

El molde se fabricara con perfiles de madera, aglomerado y planchas de policarbonato. El cuerpo del tunel con fibra de vidrio y angulos de aluminio. La camara a su vez tambien utilizara angulos de aluminio, a parte de planchas de metacrilato. La balanza estara construida de los mismo materiales que la camara de ensayos, a parte de una estructura de varillas metalicas y glagas extensiométricas. La maquina de humo a su vez estara construida a partir de un termo de 1,5 l y una cantimplora de 1 l, a parte de una bomba de agua y un hervidor de inmersión.

A pesar de no haber acabado el tunel a la finalización de este informe, se han establecido los pasos para realizar tanto el ensayo de calibración como un ensayo tipo.

6.3 Trabajo futuro

El túnel de viento que se ha diseñado y construido en este proyecto tiene más futuro que pasado. Este túnel se presenta como un folio en blanco en el que introducir diferentes tipos de sensores todavía no planteados o modificaciones a las distintas secciones gracias a la condición de ser un túnel modular.

Al término de este informe no se han instalado los diferentes sensores e instrumentos de medición y visualización del flujo de aire. Los sistemas todavía no instalados están diseñados y sus componentes adquiridos para que, cuando se disponga de tiempo, se concluya lo aquí proyectado.

Aun no habiendo terminado el túnel hasta el punto que se planifico en un principio, se tienen planteadas diversas ideas para que en un futuro se implementen en el túnel.

A continuación se presentan algunas de las que, hasta ahora, se plantean:

Crear un sistema que, gracias a la oscilación de un haz de luz láser sobre un mismo plano perpendicular al flujo, se pueda visualizar un corte de las variaciones que sufre el flujo a causa del modelo de estudio al iluminar el humo artificial que arrastra.

A su vez se pretende dotar a la cámara de diferentes tonos de iluminación con la finalidad de realizar contrastes entre el humo y el modelo de estudio.

Instalar un sistema de grabación desde distintos ángulos para así poder tener un archivo visual al que recurrir si se quiere volver a visualizar el estudio para poder trabajar posteriormente.

Diseñar y fabricar diferentes cámaras de ensayo para poder, con cada una de ellas, realizar diferentes tipos de ensayos.

Diseñar y fabricar algún sistema con el que producir turbulencias provocadas y controladas.

Este túnel en un futuro cercano se depositara en el LEEM-UZ, una asociación asentada en el CPS, adscrita a la Universidad de Zaragoza y que actualmente tiene un acuerdo de colaboración con la UPC. Esta localización propiciara la oportunidad de que otros estudiantes o investigadores puedan seguir realizando estudios o posteriores desarrollos sobre el túnel.

6.4 Estudio de impacto medioambiental

El estudio del impacto medio ambiental nos sirve para identificar aquellos procedimientos, que realicemos para la construcción de nuestro proyecto, que de alguna forma cause algún impacto perjudicial al medio ambiente.

En nuestro proyecto identificamos cuatro procesos sensibles de poder tener algún impacto sobre el medio ambiente.

Aplicación de resina

Para la fabricación del cuerpo del túnel utilizamos la resina de poliéster insaturado ADHyECO de reactividad media, exotérmica controlada y su formulación minimiza la emisión de vapores de estireno y no emite olores fuertes.

El estireno es un líquido incoloro que se evapora fácilmente. De forma natural lo producen en pequeñas cantidades plantas, bacteria y hongos. De forma artificial lo encontramos en la combustión de cigarrillos y combustibles de automóviles, también está presente en algunos aislantes y plásticos. En el caso de este proyecto la emisión es aérea, en la atmosfera el estiren se degrada en uno o dos días. El impacto que tiene este producto los sufren aquellos que trabajan con él.

La inhalación de estireno afecta al sistema nervioso, produciendo alteraciones de la visión, sensación de embiagradez, reacciones lentas y problemas de concentración y equilibrio. Por todo esto este trabajo se realiza en un sitio cerrado pero con buena ventilación y utilizando mascarillas con los filtros adecuados.

Hemos visto pues que este procedimiento no perjudica al medio ambiente pero puede ser perjudicial para el ser humano.

Lijado de la fibra de vidrio y la masilla: Esta acción produce un polvo fino que queda en suspensión para luego posarse sobre el suelo u otras superficies.

Al realizarse en un espacio cerrado todo el polvo producido se puede recoger posteriormente sin llegar este a tener contacto con el medio. Este polvo de ser inhalado puede producir problemas en el sistema respiratorio. Por ello se debe utilizar mascarillas con el filtro adecuado para realizarlo.

Pintado

Este procedimiento se realiza en un espacio cerrado y bien ventilado. Las pinturas que se utilizan, tanto el gelcoat como la pintura en spray no liberan gases CFCs ni de otro tipo que puedan ser perjudiciales para el medio ambiente. Como en los dos anteriores casos es altamente recomendable realizar estas acciones con las mascarillas y filtros adecuados.

Máquina de humo

La mezcla que se utiliza: agua, alcohol y glicerina, es la utilizada en fiestas y espectáculos en sitios cerrados. Su emisión no produce daños al medioambiente y su inhalación no es perjudicial para el ser humano.

Una vez que quede inutilizado el túnel de viento y se requiera desprenderse de él, se deberá acudir a un punto limpio para que procesen cada elemento que este contiene.

BIBLIOGRAPHY

Referencias web

1.1

<http://aerotecnologia.blogspot.com.es/2011/01/tunel-de-viento.html>

1.2

http://es.wikipedia.org/wiki/Sensor#Tipos_de_sensores

<http://es.farnell.com/ist-innovative-sensor-technology/fs5-0-1l-195/sensor-flujo-gas-100m-s/dp/1778049>

1.3

<https://eetac.upc.edu/ca/node/870>

http://www.idr.upm.es/aero_civil/01_civil.html

2.1

<http://www.sodeca.com/productos.aspx?id=1.4>

2.2

<http://www.grc.nasa.gov/WWW/k-12/airplane/tunbalext.html>

2.4

http://es.wikipedia.org/wiki/Tubo_de_Pitot

6.4

http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts53.html

Anexos

<http://panamahitek.com/aprendiendo-utilizar-el-sensor-de-temperatura-ds18b20/>

<http://playground.arduino.cc/Main/ThermalAnemometer>

<http://bildr.org/?s=BMP085>

ANNEXES

TÍTOL DEL PFG: Característiques constructives d'un túnel de vent de baix-cost per a aplicació local

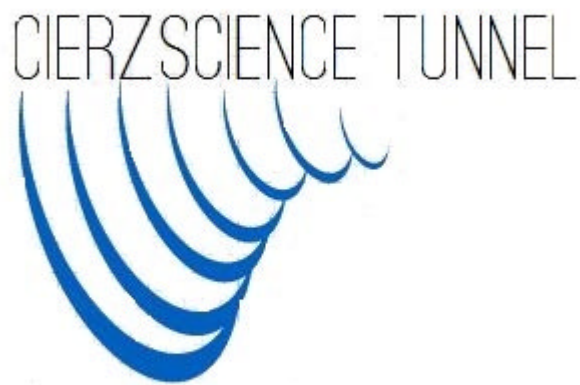
TITULACIÓ: Enginyeria Tècnica Aeronàutica, especialitat Aeronavegació

AUTORS: Joel Villa Farías

DIRECTOR: Joshua Tristancho Martínez

DATA: 13 de Octubre de 2014

MANUAL DE USUARIO



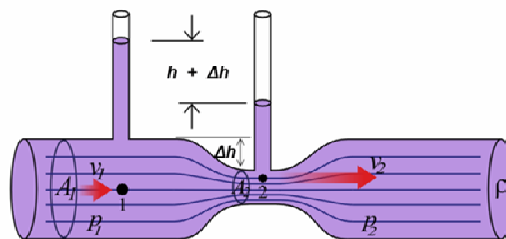
El CierzScience Tunnel es un tunel de lazo abierto, comara cerrada y aspirado. El CierzScience Tunnel es un tunel modular al que se le pueden añadir otras secciones sin alterar las secciones restantes.

El CierzScience Tunnel incluye instrumentos como la balanza de 6 grados de liberta y de una aquina de humo que falicitara los estudios aerodinamicos. El CierzScience Tunnel ha sido diseñado sobre todo con la idea de ser una herramienta sobre todo docente.

A continuacion se ampliara la informacion sobre los tneles de viento que hay que tener en cuenta antes de su utilizacion

El funcionamiento de un túnel de viento se explica a través del llamado efecto Venturi. Este efecto, denominado así por quien lo demostró: Giovanni Battista Venturi, consiste en que un fluido en movimiento dentro de un conducto cerrado disminuye su presión al aumentar la velocidad después de pasar por una sección menor. Si en este punto del conducto se introduce el extremo de otro conducto, se produce una aspiración del fluido que va a pasar al segundo conducto.

El efecto Venturi se explica gracias al principio de Bernoulli y del principio de conservación de la masa. El principio de Bernoulli describe el comportamiento de un fluido moviéndose a lo largo de una corriente. El principio expresa que un fluido ideal en régimen de circulación por un conducto cerrado, la energía que posee el fluido permanece constante a lo largo de su recorrido.



El principio de Bernoulli se entiende gracias a la ecuación con su mismo nombre. En la ecuación se demuestra que la suma de los componentes de la energía de un fluido es constante. Los componentes de la energía son la cinética, la energía del flujo y la potencial. La suma de las diferentes energías siempre será constante. En la siguiente ecuación, la de Bernoulli, se presentan las diferentes energías respectivamente

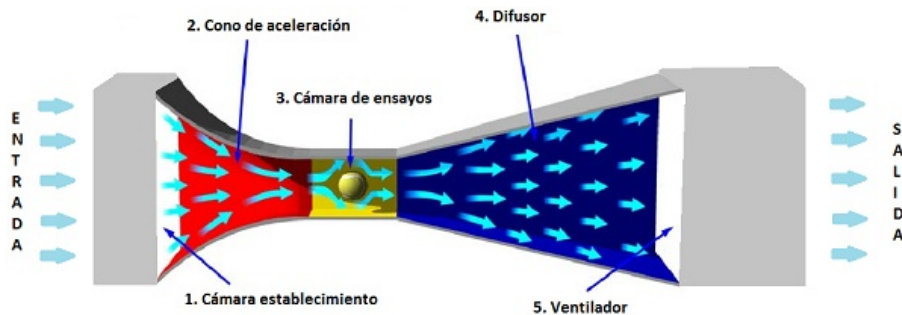
$$\frac{V^2 \rho}{2} + P + \rho g z = \text{constante}$$

En la fase de test y desarrollo de productos estáticos donde el viento es un factor a tener en cuenta en su vida útil, el túnel de viento es una herramienta que ayuda a comprender como se puede comportar este ante la fuerza del viento. En otros casos, en los que el producto no es estático, si no que se desplaza en el espacio, las fases de test y desarrollo son complicadas de llevar

a cabo. En estos casos, equipar a los objetos de estudio de elementos de medición puede ser en muchos casos un auténtico reto. Por ello los túneles de viento sirven para simular situaciones en las que es el aire el que se mueve y no el objeto de estudio. Esto permite que estos se puedan estudiar de una manera más fácil y económica.

Los túneles de viento que utiliza la industria aeronáutica y automovilística, con grandes presupuestos económicos y parques industriales, pueden albergar desde automóviles o grandes maquetas de aeronaves hasta, en el caso del de la NASA, paracaídas que son utilizados para tomar tierra en Marte. Estos túneles de viento cuentan con múltiples ventiladores posicionados sobre una misma superficie vertical, para crear corrientes de aire para cámaras de estudio de gran volumen. En esta clase de túneles, al menos en los de circuito abierto, no suele haber grandes diferencias de sección a lo largo del túnel.

En los casos de pequeños túneles de viento o grandes túneles de viento de circuito cerrado, las diferentes variaciones de sección a lo largo del túnel es la base de su funcionamiento. En el caso más simple de túnel de viento de sección variable, en el caso del abierto, es un buen ejemplo para aplicar el principio de Bernoulli.



El ventilador situado, en el caso de este esquema, en la salida del túnel, desaloja el aire del interior del túnel creando así una corriente de aire.

En la entrada del túnel se sitúan rejillas y otros elementos como paneles de abeja o similares, que tienen la función de que el aire entre de la manera más laminar y estable posible. Esta cámara de establecimiento, puede tener o no una sección variable; depende de los elementos que se coloquen en la entrada y del diseño.

La función del cono de aceleración la podemos explicar mediante el principio de Bernoulli. El cono presenta una disminución de sección que implica una disminución de la presión y un aumento de la velocidad para conservar la energía total del fluido. Este aumento de la velocidad es el buscado para realizar la simulación en la cámara de ensayos. En el caso de este tipo de túneles, en el que los ventiladores son de pequeña sección y desalojan menos aire por unidad de tiempo que sus "hermanos" mayores de la industria, se necesita aumentar la velocidad del aire disminuyendo la sección para conseguir una simulación con unas mejores condiciones que si se mantuviese la sección del ventilador.

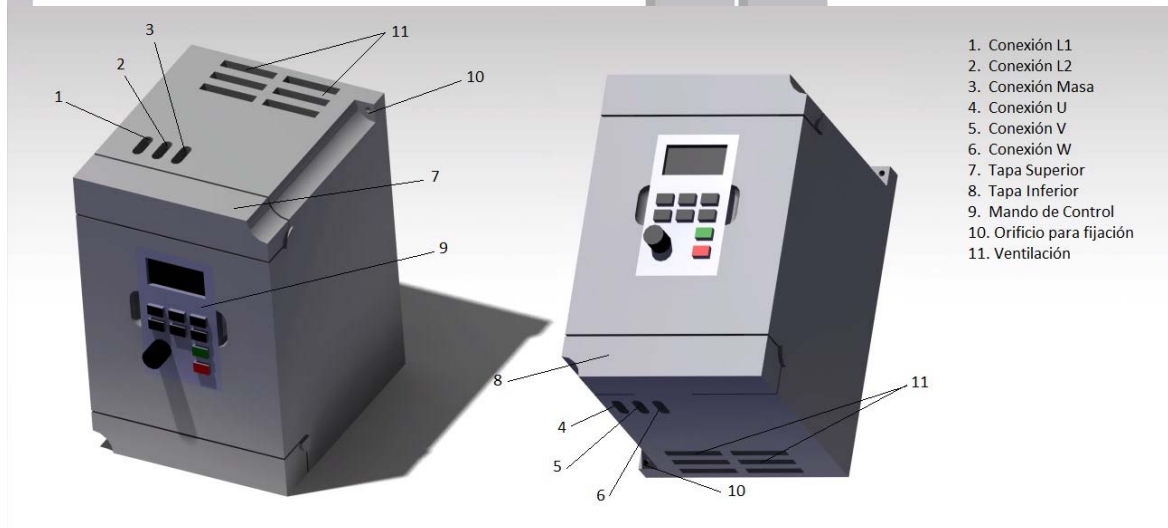
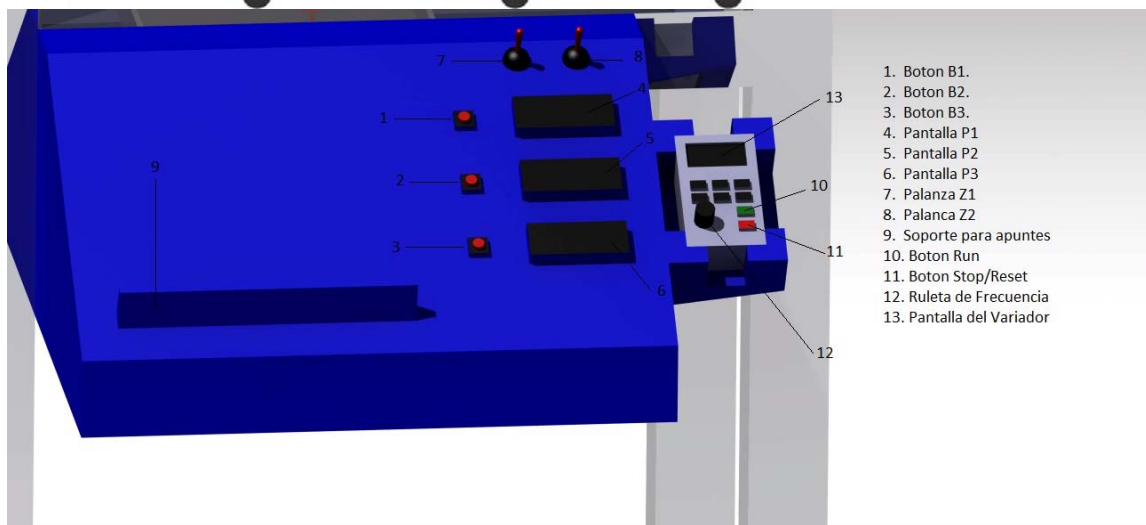
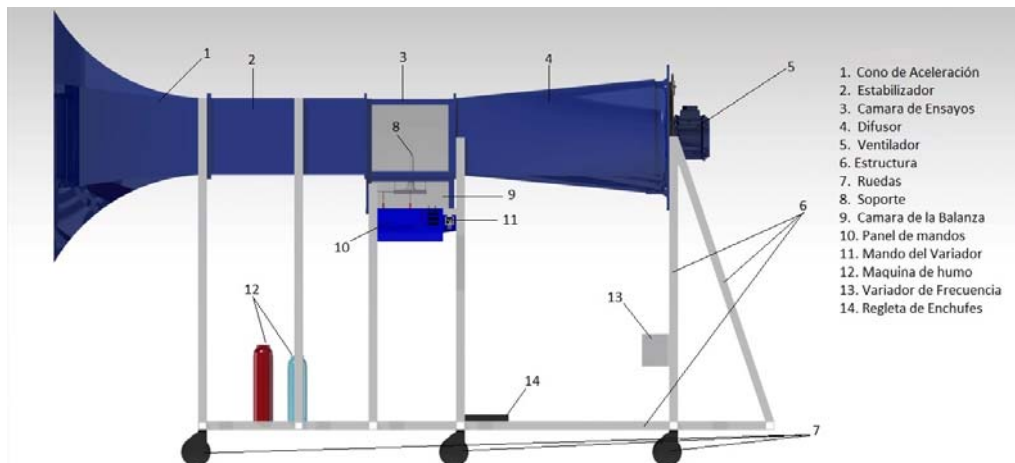
En la cámara de ensayos es donde se sitúa el objeto del estudio. La sección no varía para tener unas condiciones lo más estables posibles. En la cámara, el

flujo tiene que circular de forma laminar hasta encontrarse con el objeto del estudio. Una vez se encuentre con el objeto se estudia el efecto que actúa el flujo de aire sobre el objeto o, en el caso aeronáutico y automovilístico, el efecto que el objeto tiene sobre el flujo. Se estudia la forma que el flujo se distribuye sobre el objeto y se presta especial atención a posibles efectos turbulentos del aire.

El difusor, como el cono de aceleración, tiene la función de variar la velocidad del flujo. Aunque en este caso, la variación es negativa, la velocidad del flujo disminuye. Esta disminución viene dada ante la necesidad de disminuir también las pérdidas que se presentan en las altas velocidades.

El ventilador es el encargado de desalojar el aire del túnel de viento y crear el flujo de aire. Existen configuraciones de túneles de viento en el que el ventilador se encuentra en la entrada del túnel. Esta última configuración presenta problemas en la forma laminar del flujo.

Partes del tunel



ADVERTENCIAS DE SEGURIDAD

Comprobar antes de accionar el ventilador de que los frenos de las ruedas estan puestos y estas estan calzadas.

Comprobar que no hay ningun objeto sensible de ser aspirado o soplado por el ventilador.

No manipular las secciones del tunel mientras el ventilador esta en funcionamiento.

Bajo ningun concepto manipular el ventilador en funcionamiento, ya sea el rotor o las conexiones del ventilador. Para hacerlo esperar a que el rotor este parado por completo y el ventilador desconectado de la red electrica.

Bajo ningun concepto manipular el cuerpo del variador de frecuencia sin estar este desconectado y haber esperado 5 minutos.

Bajo ningun concepto manipular el recipiente del calentador de la maquina de humo. Esperar a que este estedesconectado y enfriado.

Bajo ningun concepto manipular las conexiones de los sensores estando conectado Arduino.

PASOS PARA REALIZAR UN ESTUDIO

Una vez se hayan tomado las medidas de seguridad previsa al funcionamiento del tunel, conectamos a la red electrica el tunel.

Abrimos la camara de ensayos desatornillando los 6 tornillos que fijan la placa de metacrilato a la estructura de la camara.

Colocamos el modelo de estudio sobre el soporte de la balanza y lo fijamos. Cerramos la camara atornillando los 6 tornillo.

Presionamos el boton B1 para seguir la progresion de la velocidad del flujo en el interior de la camara en la pantalla P1.

Activamos el ventilador presionando el boton verde RUN del mando del variador de frecuencia.

Cambiamos la frecuencia del ventilador con la ruleta del mando del variador hasta que en la pantalla P1 vemos que muestra la velocidad deseada.

En als pantallas P2 y P3 veremos los valores de presion y temperatura respectivamente.

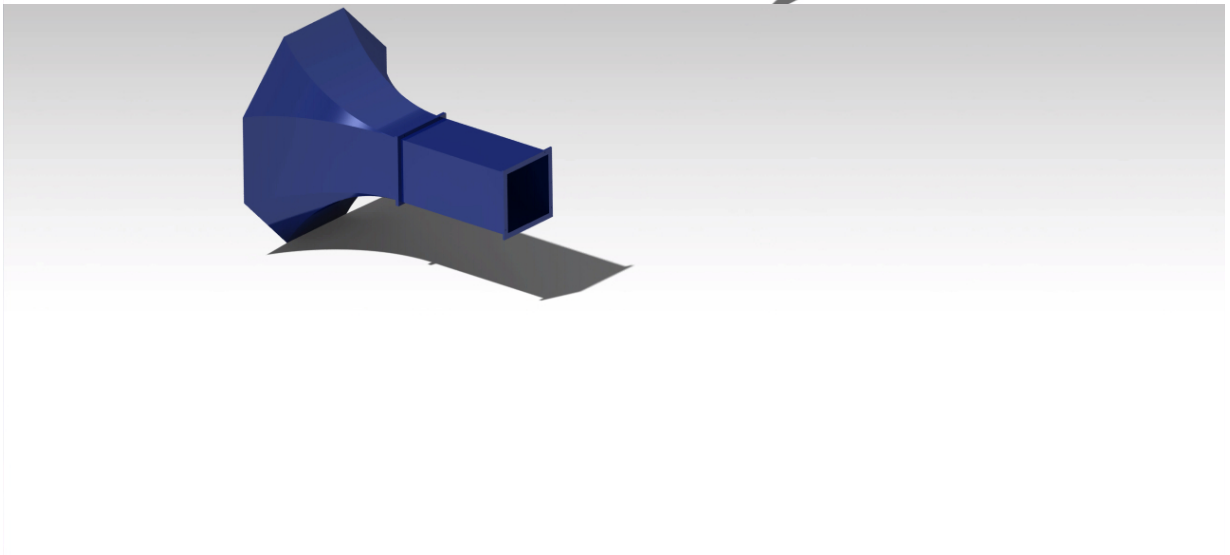
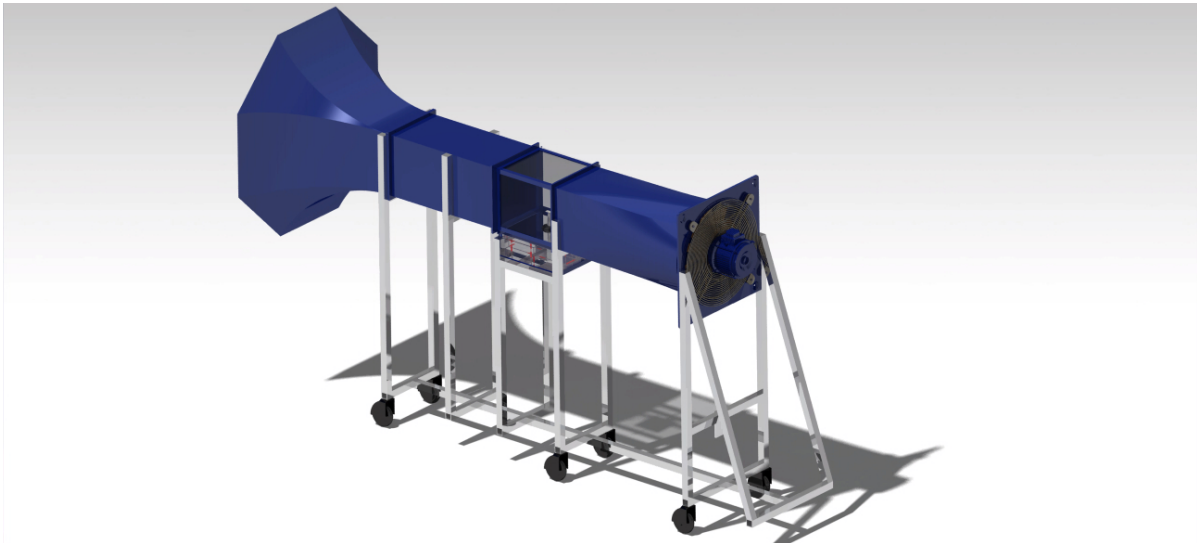
Para ver los valores de las fuerzas presionaremos el boton B2. En las pantallas P1, P2 y P3 se mostraran los valores de Lift, Drag y Side Force respectivamente.

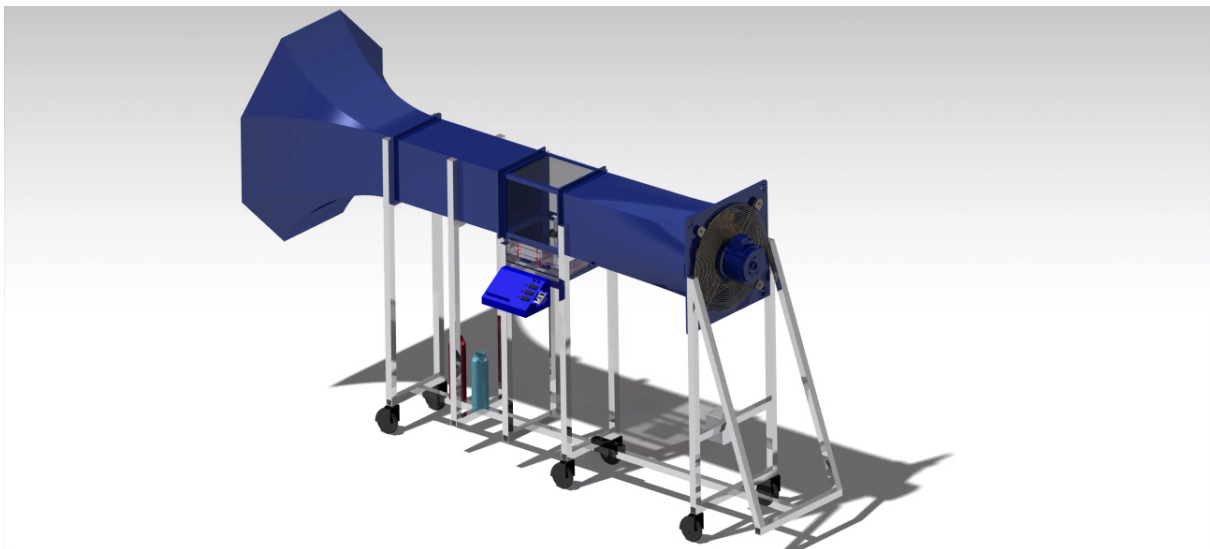
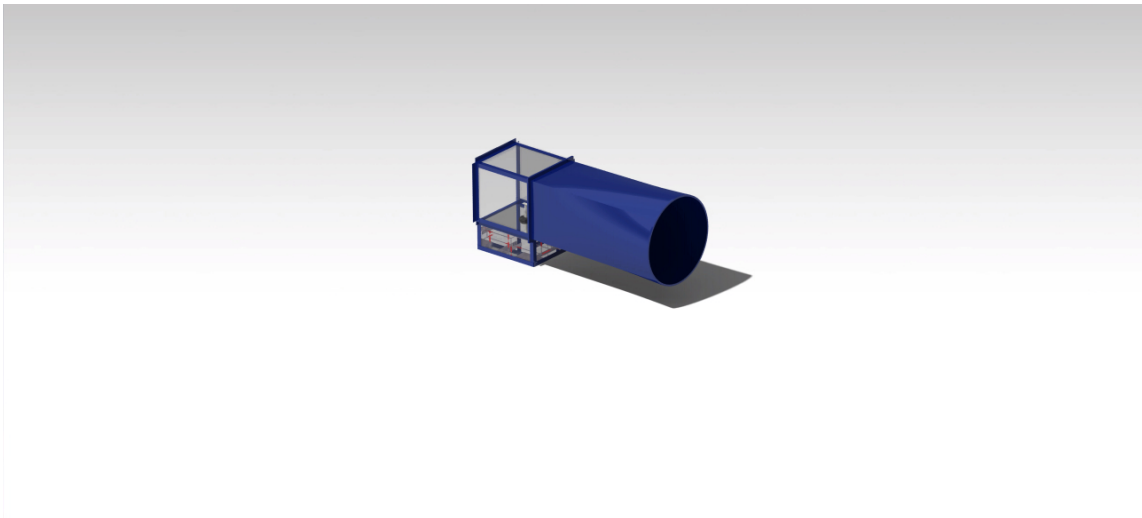
Para ver los valores de los momentos presionaremos el boton B3. En las pantallas P1, P2 y P3 se mostraran los valores de los momentos de Rolling, Yawing y Pitching respectivamente.

Para introducir humo en el interior del tunel, primero paramos el ventilador y nos aseguramos de que la resistencia del calentador esta completamente sumergida en la mezcla, de no ser asi activamos la palanca Z1 para llenar el deposito, y lo paramos cuando este lleno. Una vez lleno activamos la palanca Z2 para que se ponga en funcionamiento el calentador. Pasados unos minutos comenzara a salir humo, entonces volvemos a activar el ventilador hasta que el flujo llegue a la velocidad deseada.

Una vez acabado el ensayo apagamos el calentador con la palanca Z2 y el ventilador con el boton rojo STOP del mando del variador de frecuencia.

MONTAJE DEL TUNEL





Una vez tenemos la estructura posicionada y el ventilador montado sobre el, unimos las secciones de la cámara y balanza con el difusor con los tornillos y tuercas alojándolos en los orificios creados para tal fin en los perfiles de aluminio.

Colocamos el conjunto cámaras-difusor en su posición. El extremo del difusor lo encajamos con la sección del ventilador y dejamos apoyadas las secciones

del difusor y la camara de la balanza sobre los travesaños de la estructura que le corresponden.

Por otro lado unimos con ls tornillos y tuercas el cono de aceleracion con el estabilizador y los colocamos en su posicion para luego unir el estabilizador con la camara de ensayos.

Atornillamos la regleta de enchufes en su posicion sobre el larguero principal de la base de la estructura.

Atornillamos el variador de frecuencia en su posicion. Conectamos los cbles de las tres fases del ventilador a las conexiones U, V y W del variador de frecuencia.

La masa del ventilador la conectamos a la conexion E/Masa del variador. Los cables de fase del enchufe que conectara el variador a la regleta de enchufes los conectamos a L1 y L2 y la masa a la conexion E/Masa del variador. Para conectar los cables al variador, primero abriremos la tapa correspondiente desatornillaremos el tornillo correspondiente a la conexion hasta que se pueda alojar en su interior el cable, despues lo atornillaremos para dejarlo fijado.

Colocamos el panel de mandos en su posicion y lo atornillamos a la estructura. Conectamos los diferentes cables de pantallas y botones en su posicion, ademas de las conexiones de la bomba y calentador de la maquina de humo a las palancas.

Fijamos la maquina de humo en su posicion y conectamos la manguera de salida de humo al orificio creado para tal fin en la seccion del estabilizador.

Mantenimiento

En general se seguirá el programa de mantenimiento que cada fabricante ha establecido independientemente para cada parte que integra el túnel de viento.

Después de los ensayos

Si el modelo de ensayos es pesado, retirarlo.
Colocar la funda al panel de mandos.

Cada cierto tiempo

Limpiar el polvo de la superficie interior y exterior del túnel con una brocha seca de cerdas finas. Para hacerlo con mayor facilidad, retirar la cámara de la estructura. El metacrilato de la cámara lo limpiaremos con un paño levemente húmedo.

Revisar las juntas de las uniones de las secciones, si estas ya no prestan estanqueidad al túnel, retirarlas y colocar unas nuevas.

Engrasar las ruedas y junta telescópica de la estructura.

Revisar que no surjan grietas en la fibra de vidrio.

Recalibrar los sensores.

Revisar si la máquina de humo tiene pérdidas.

Si no se va a utilizar en un largo periodo

Colocar las fundas sobre el panel de mandos y el túnel completo para protegerlos.

Lavar con agua jabonosa la máquina de humo y dejarla llena solo con agua.

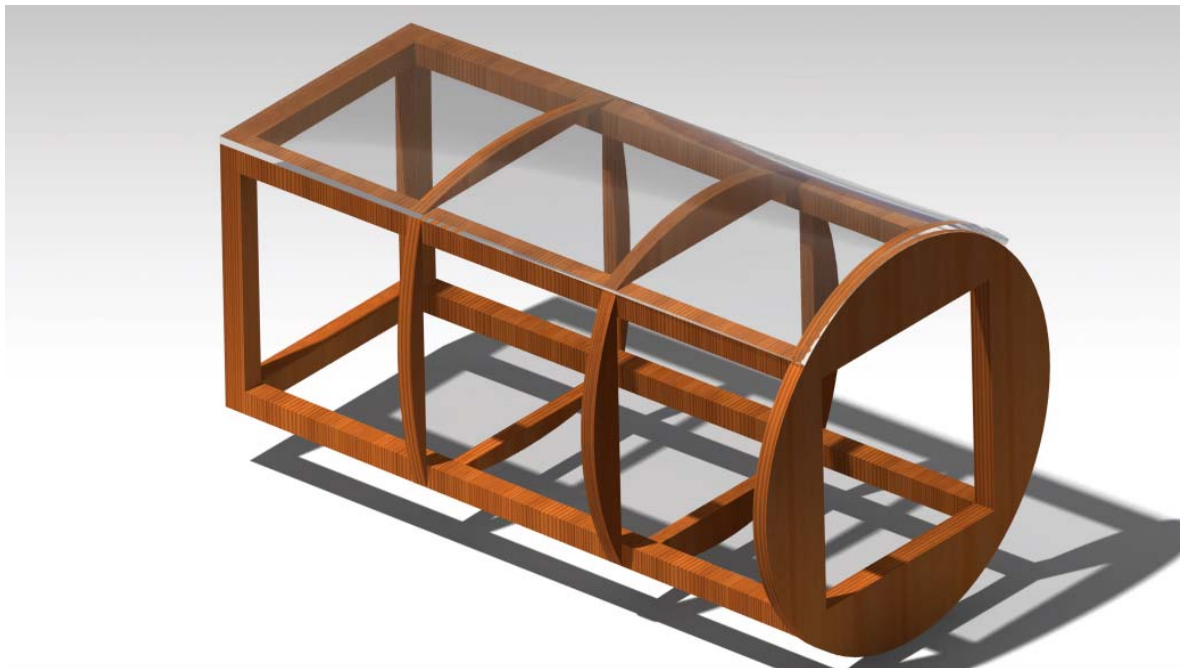
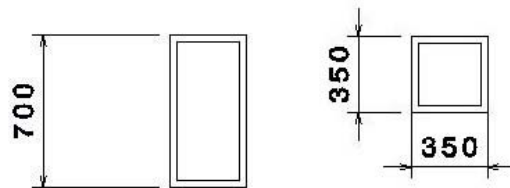
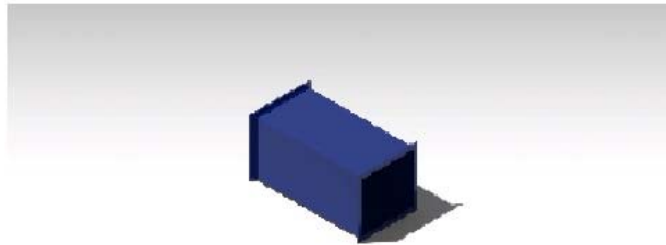
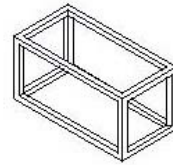
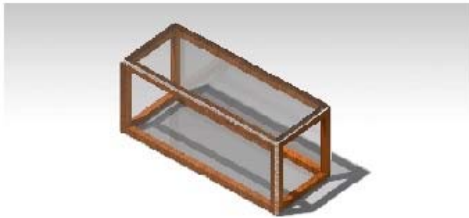
Tras un largo periodo sin usarse

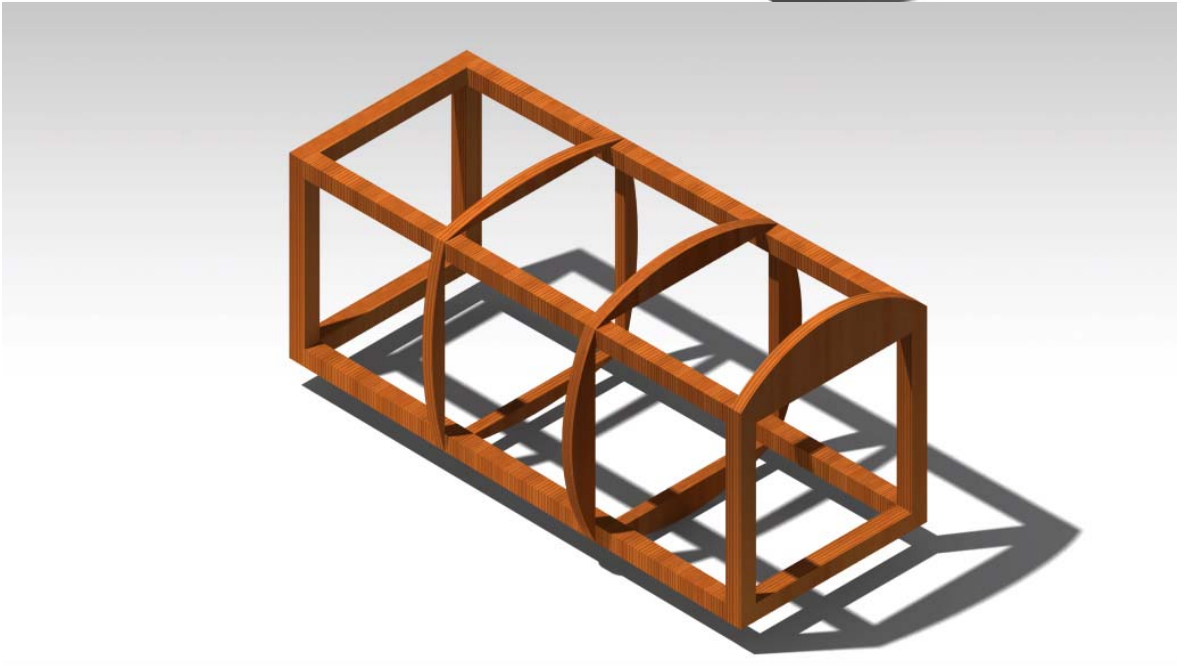
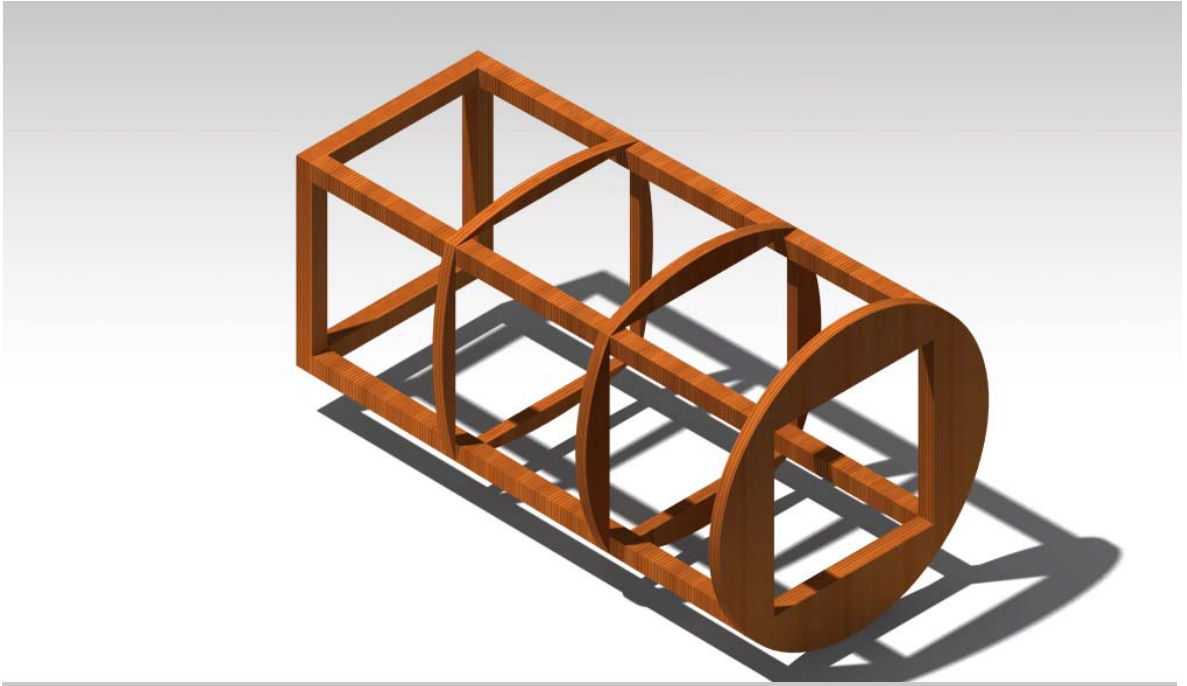
Antes de volver a activar el ventilador, conectar a la red el variador y dejarlo reposar 5 minutos antes de utilizarlo. Mientras girar manualmente el rotor para apreciar si este ofrece algún tipo de resistencia.

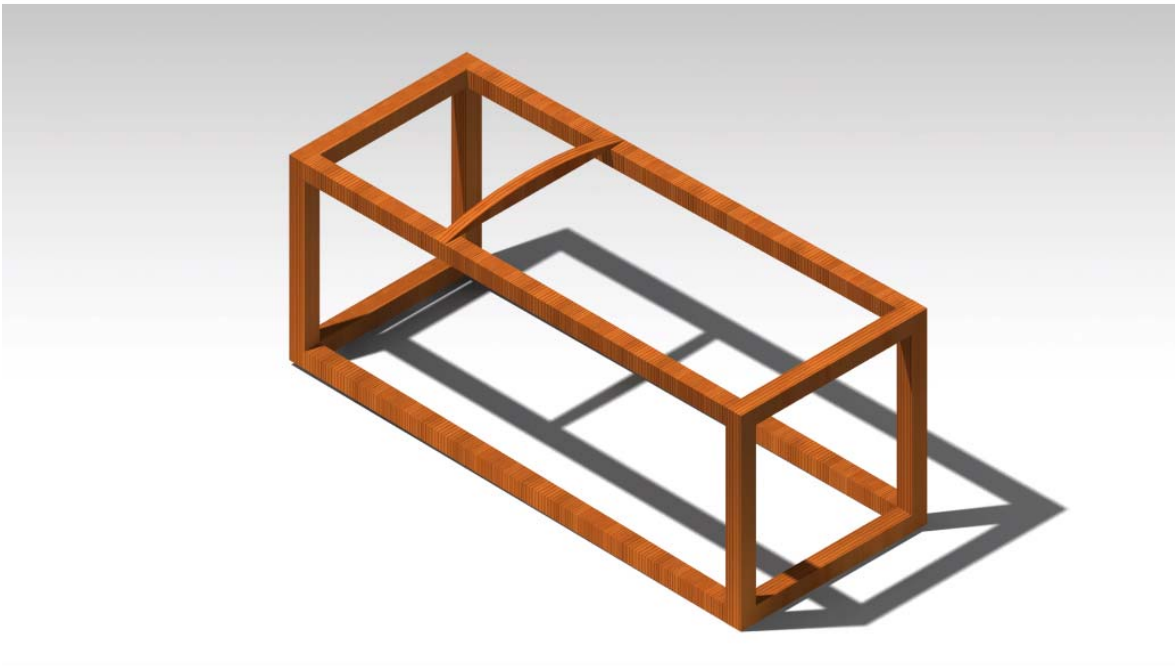
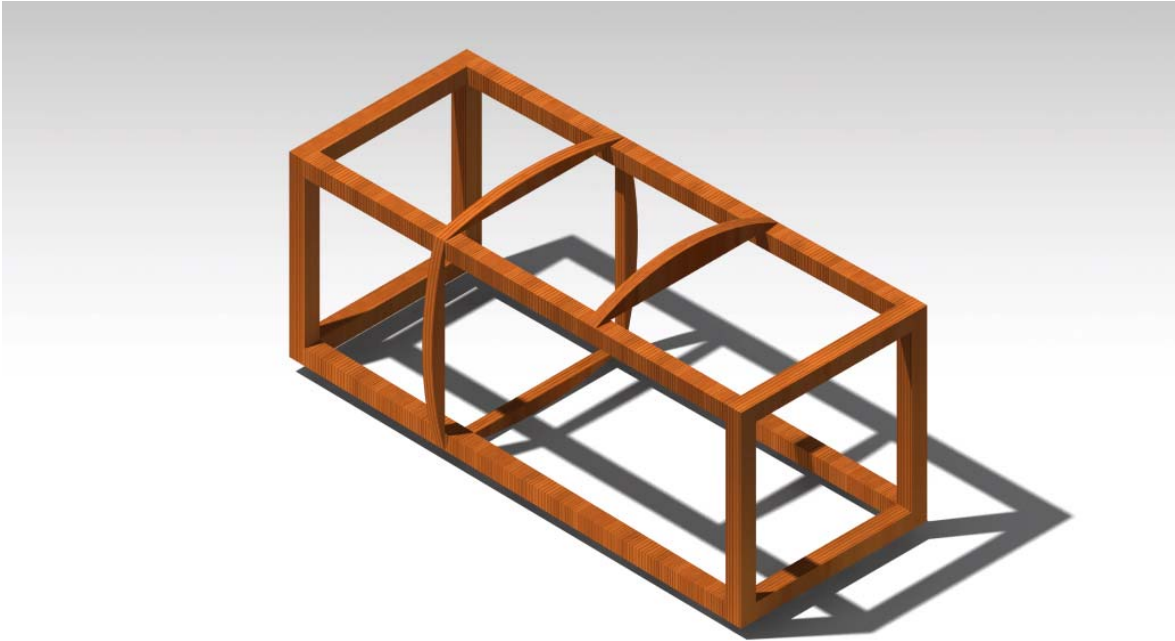
Hacer un ciclo completo de la máquina de humo con el agua que contenía para revisar si existe cualquier tipo de problema.

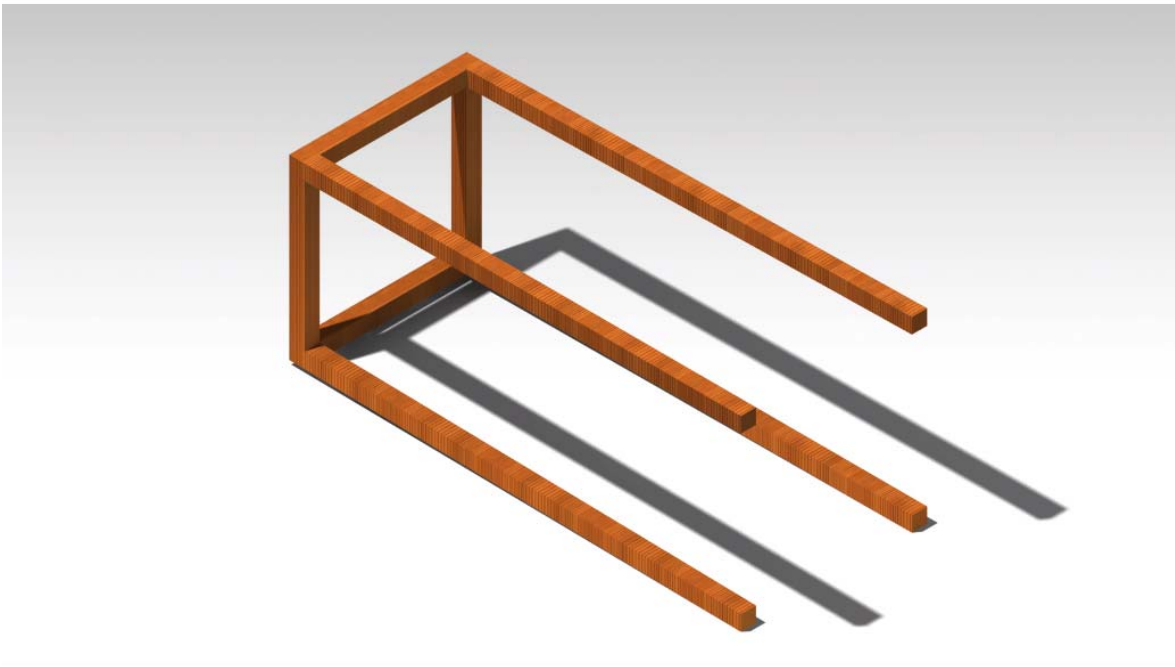
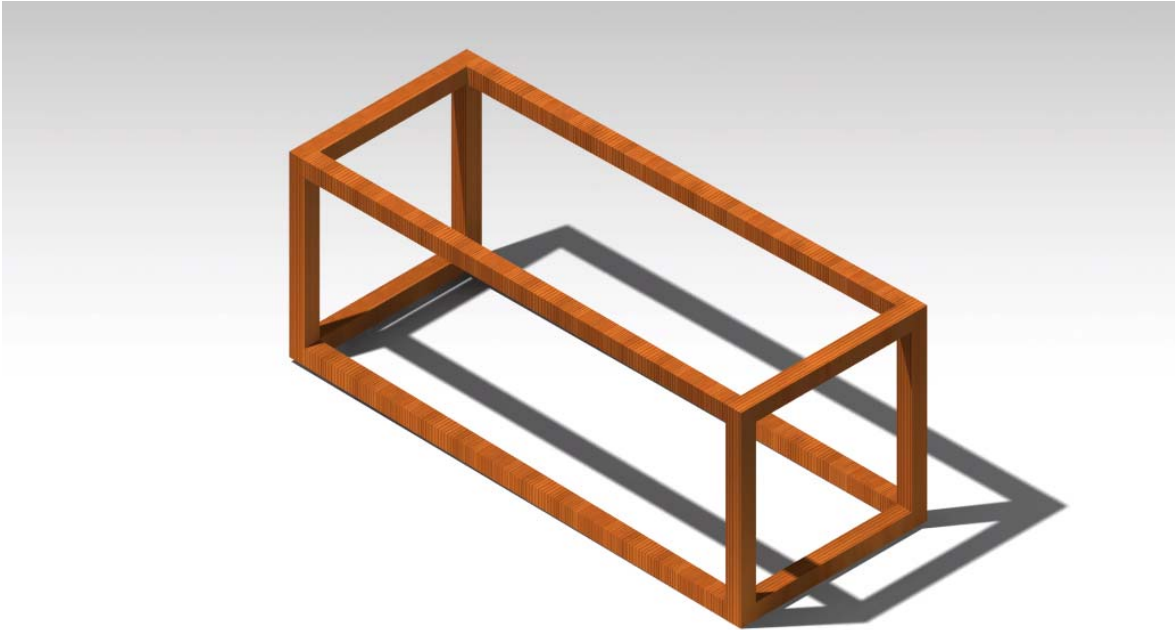
DISEÑOS

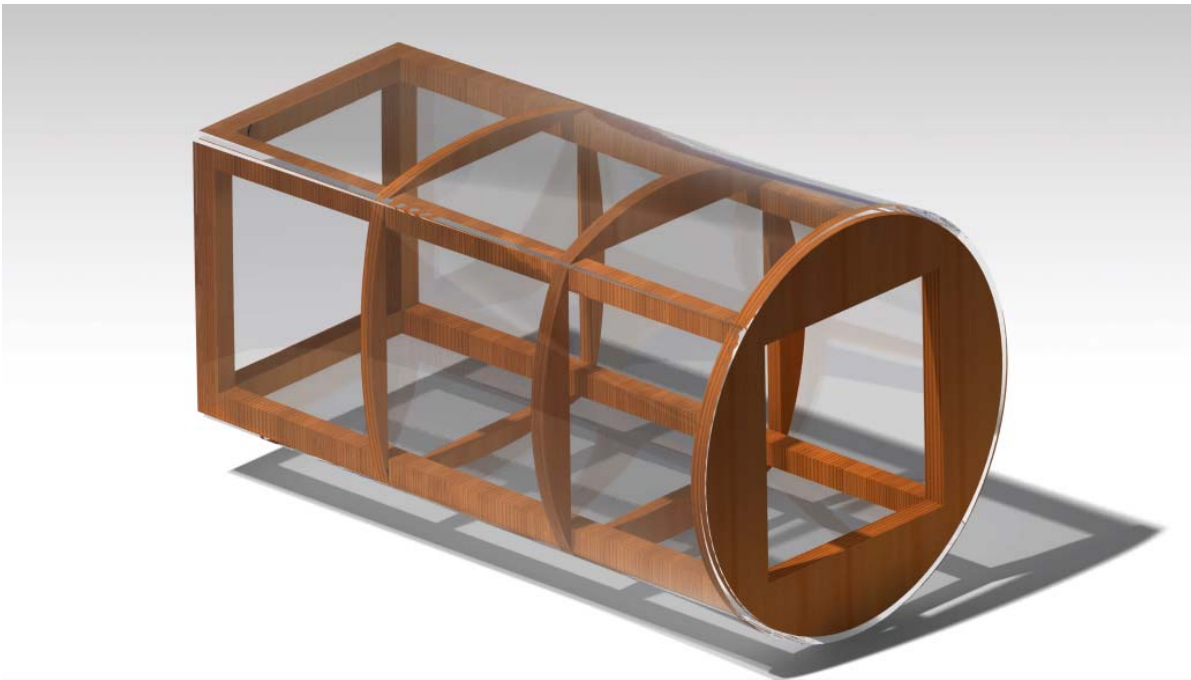
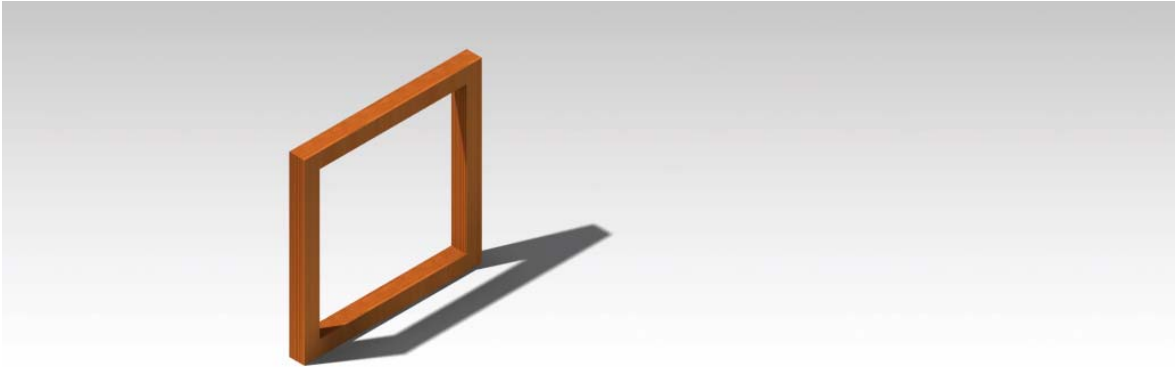
Cuerpo Tunnel

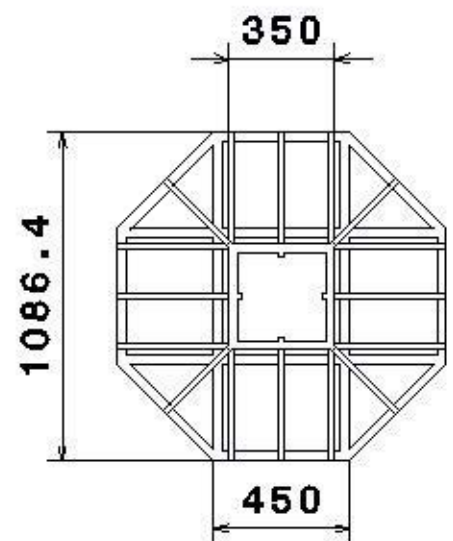
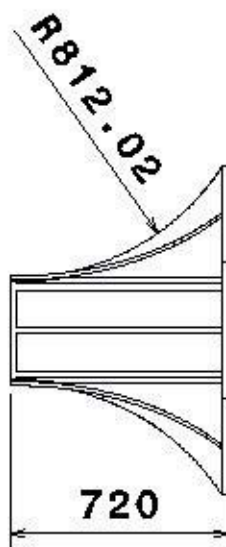
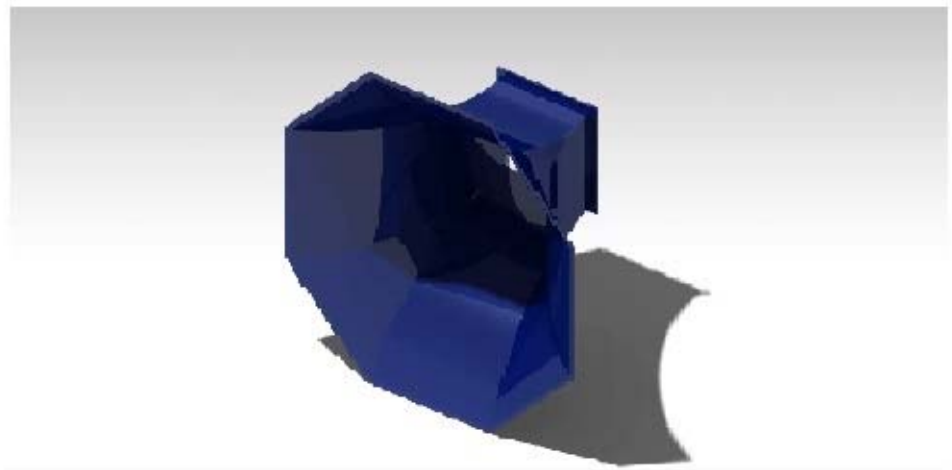
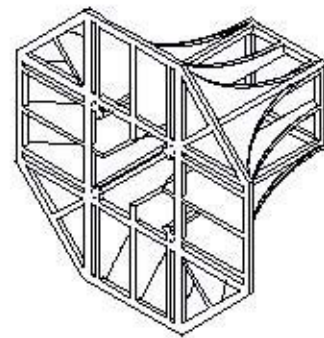
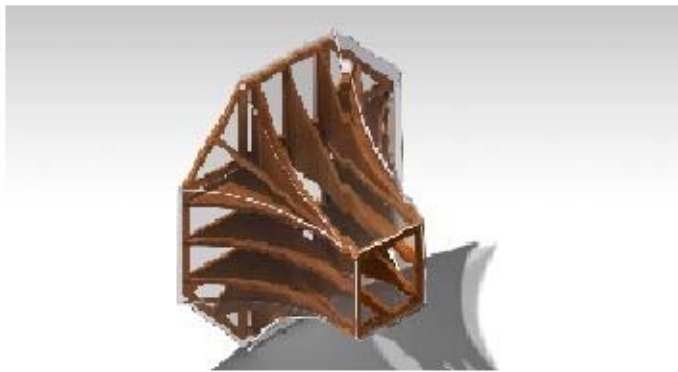




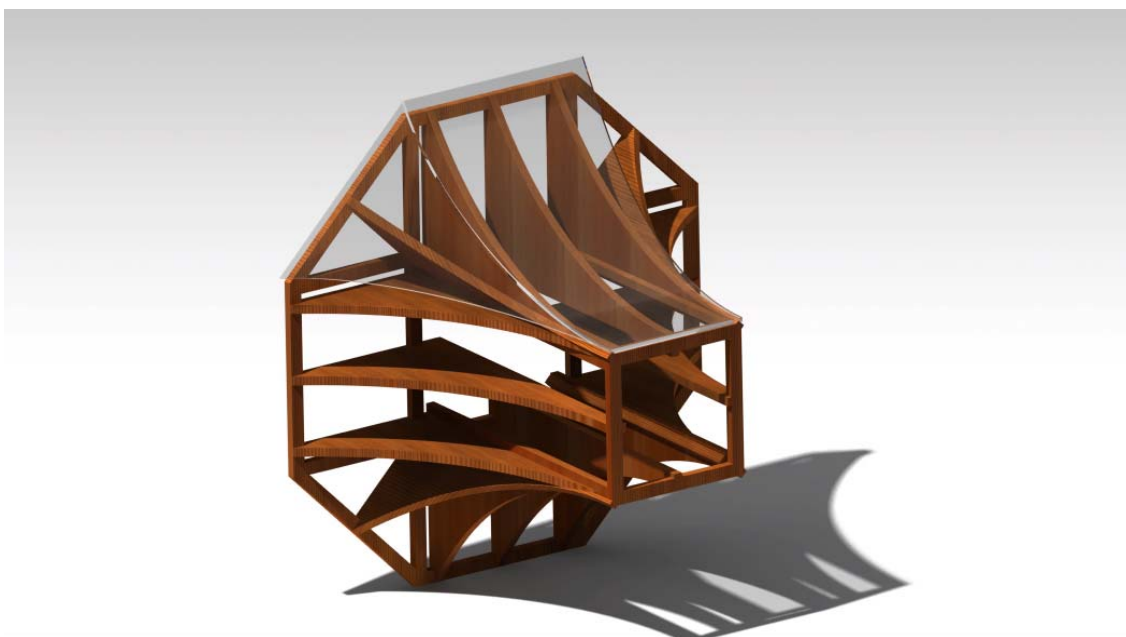


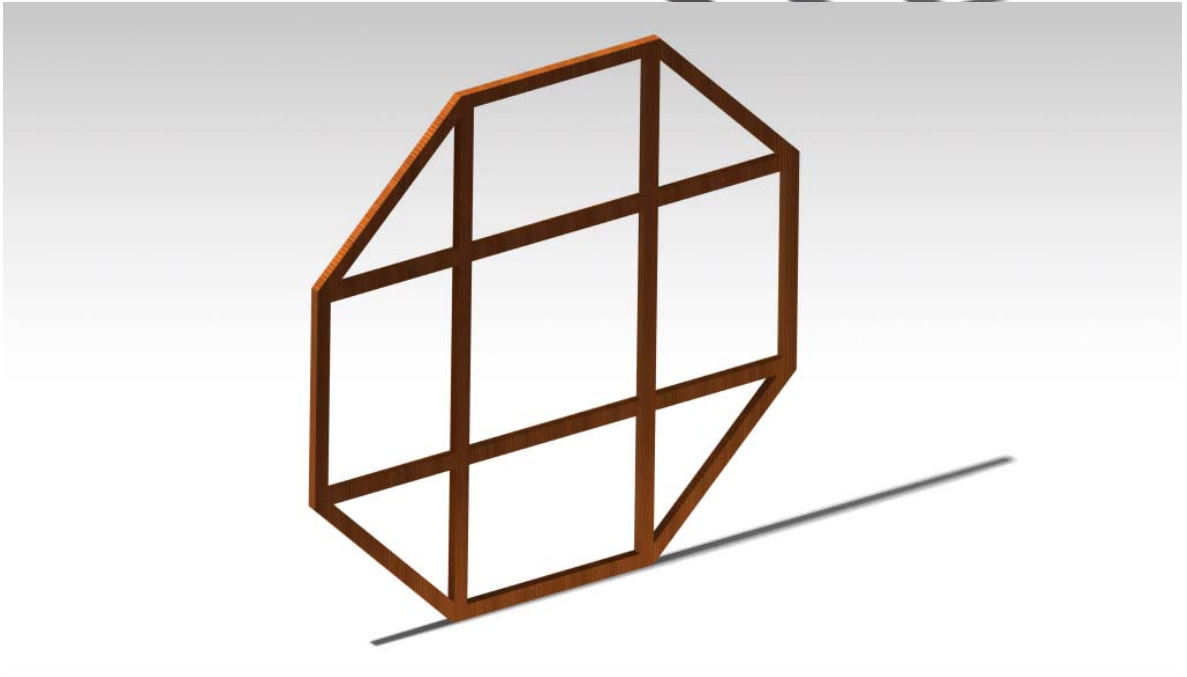
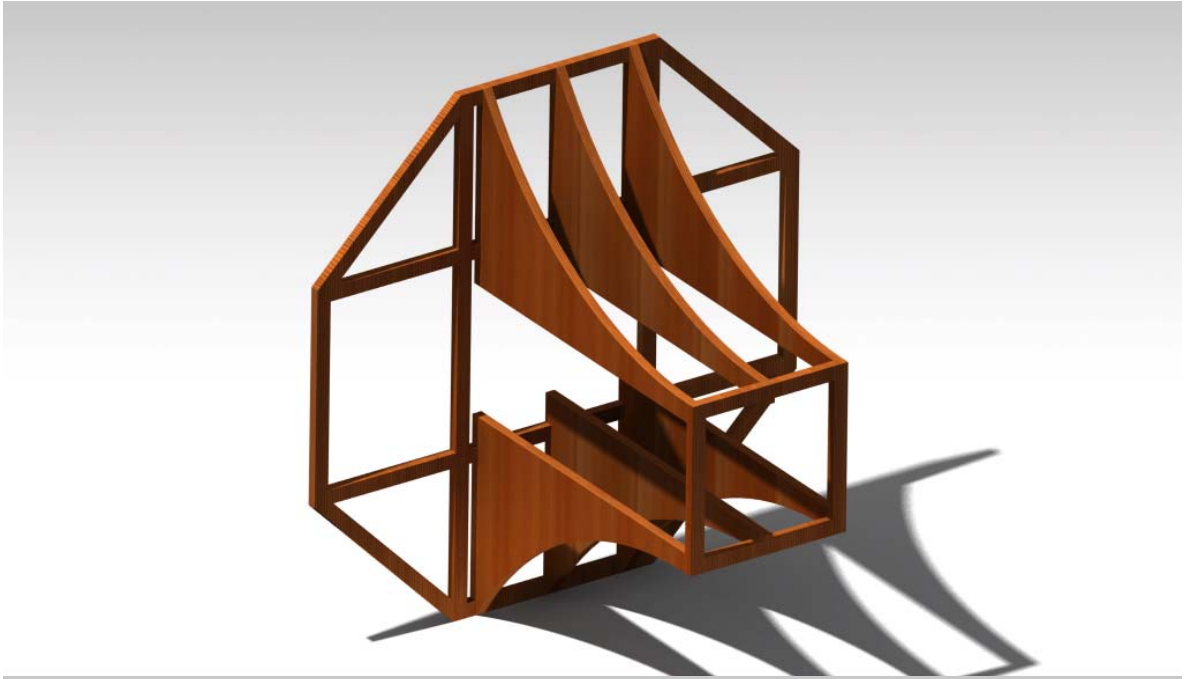


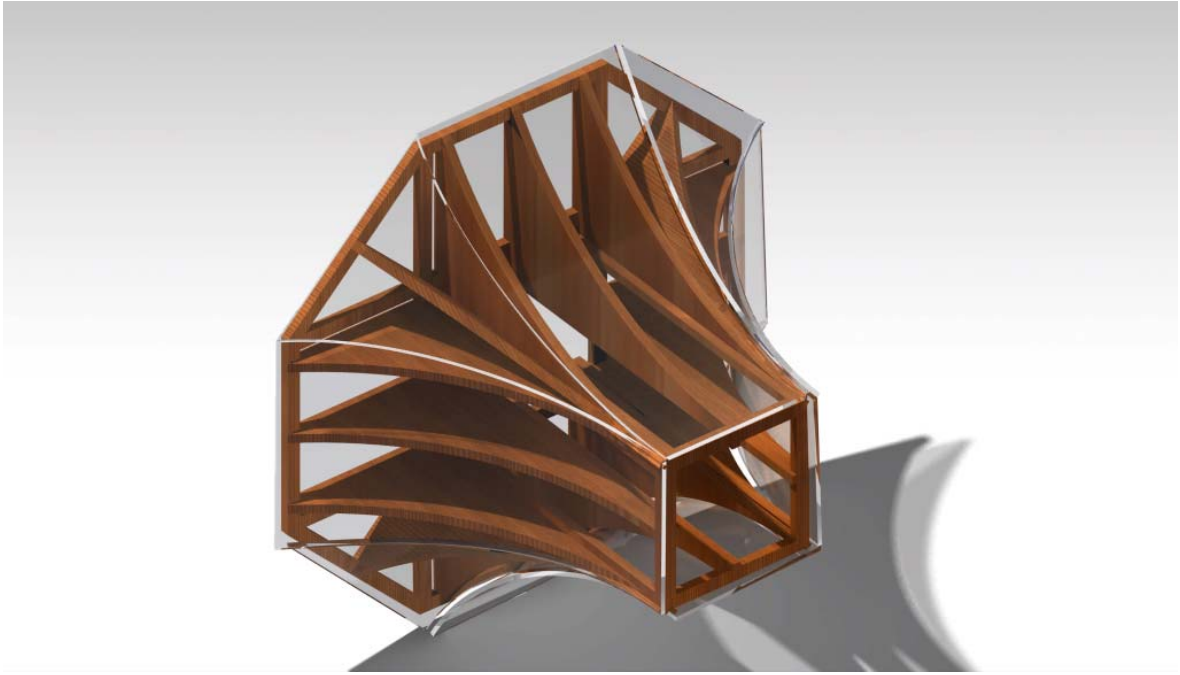




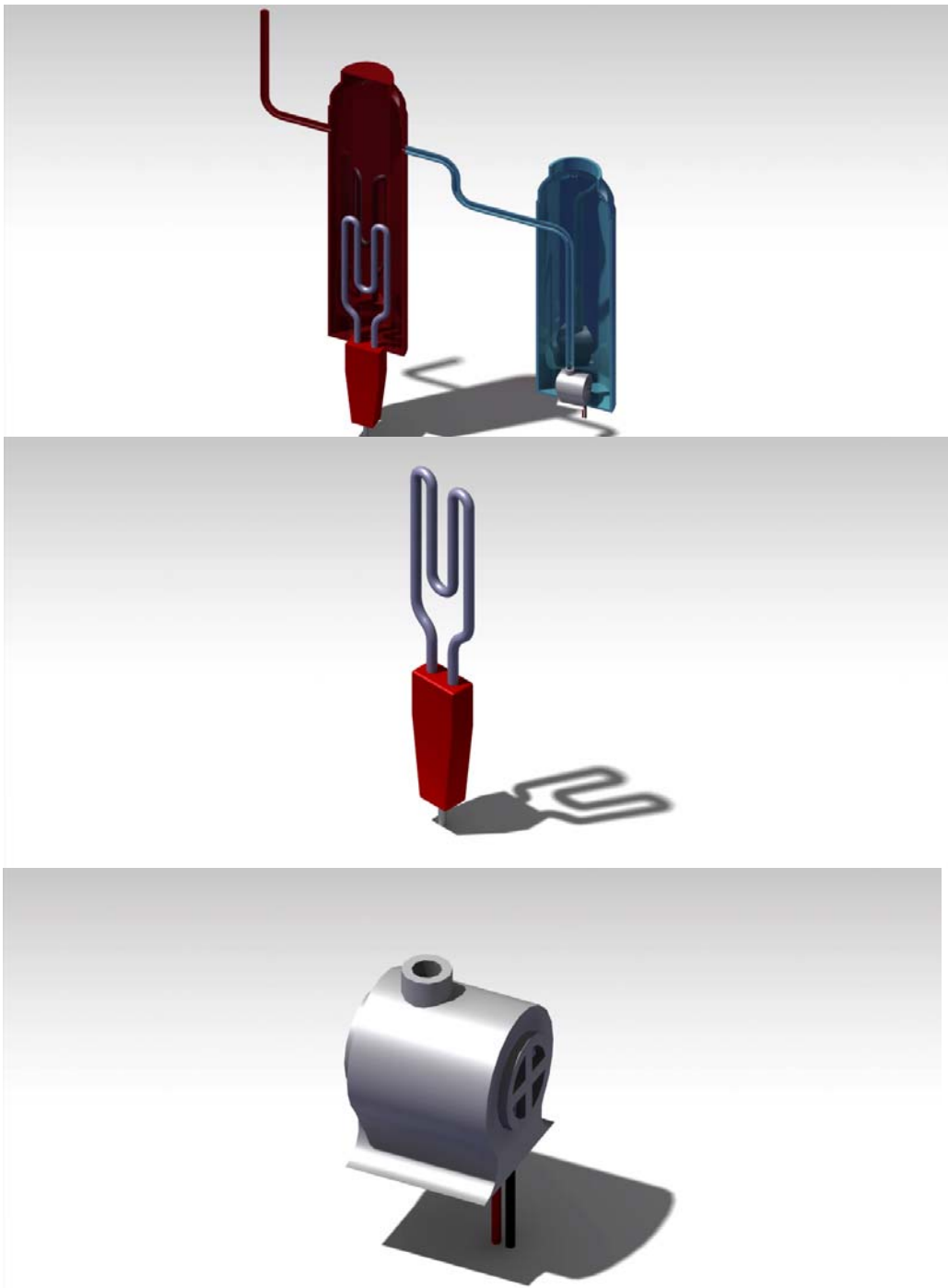
Cono de aceleración



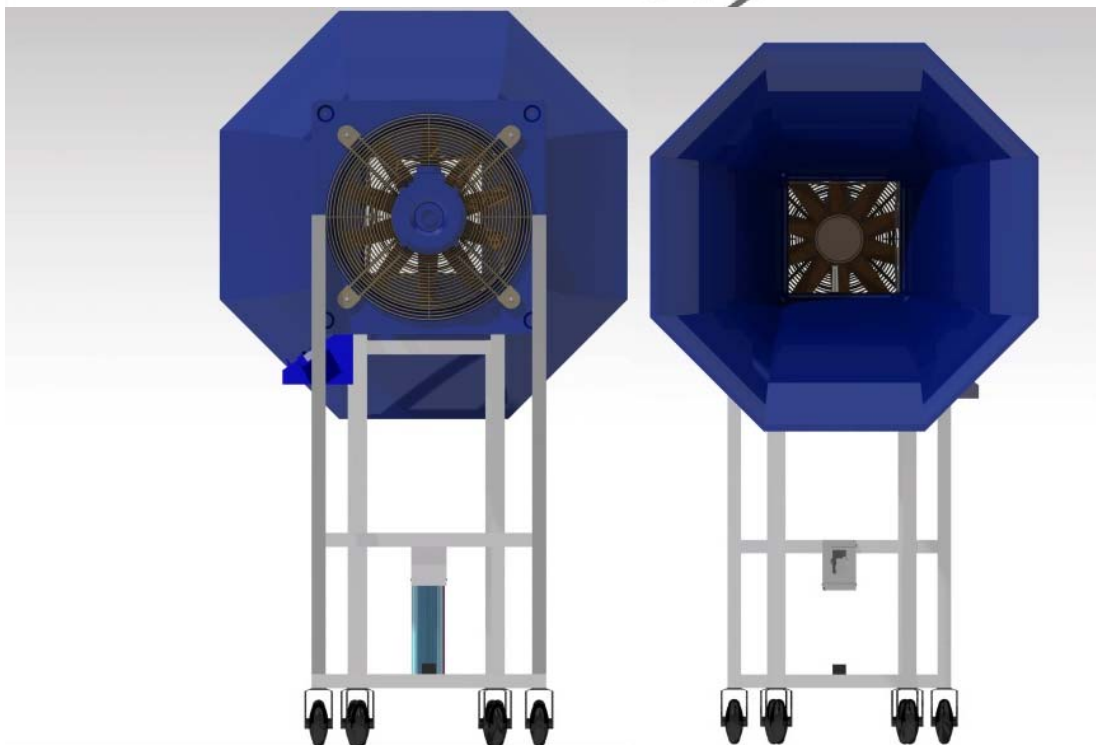
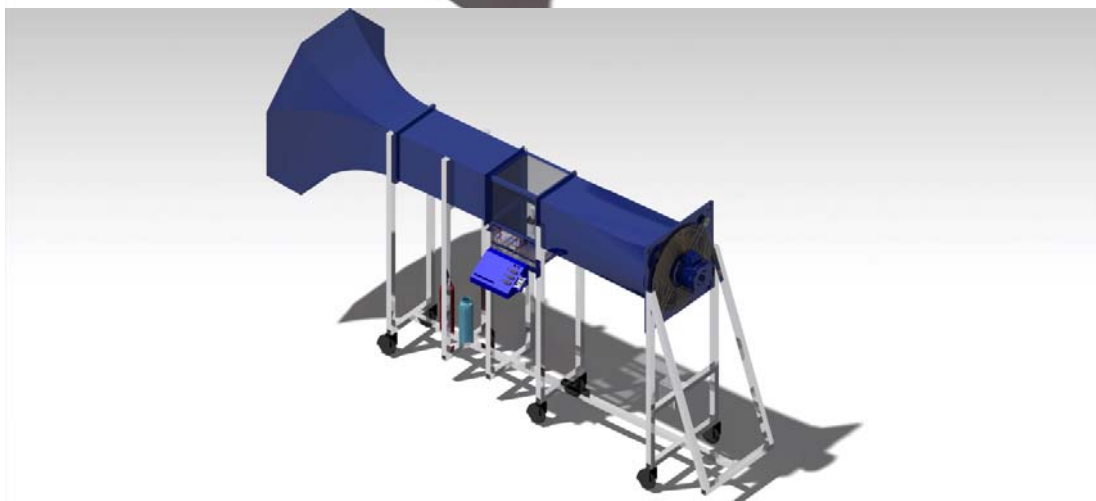
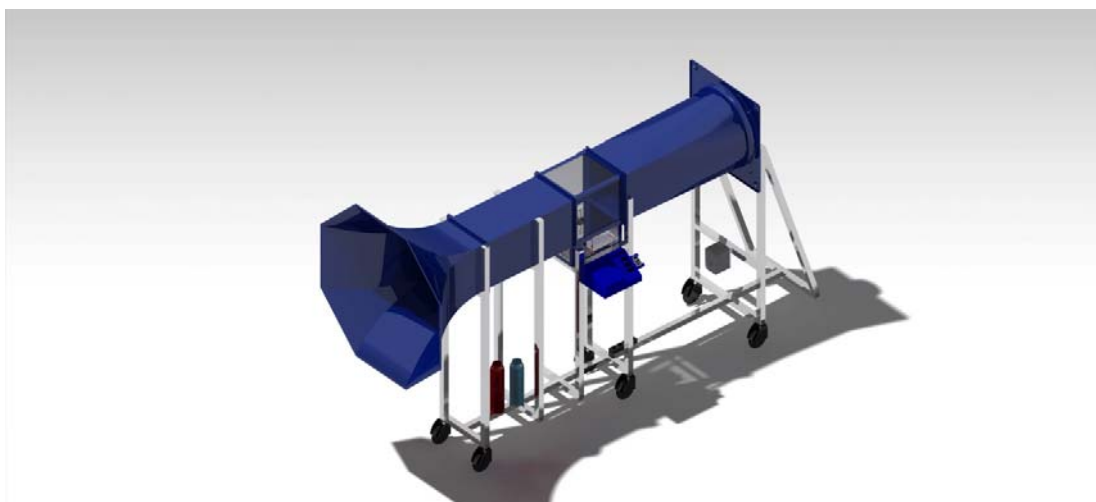




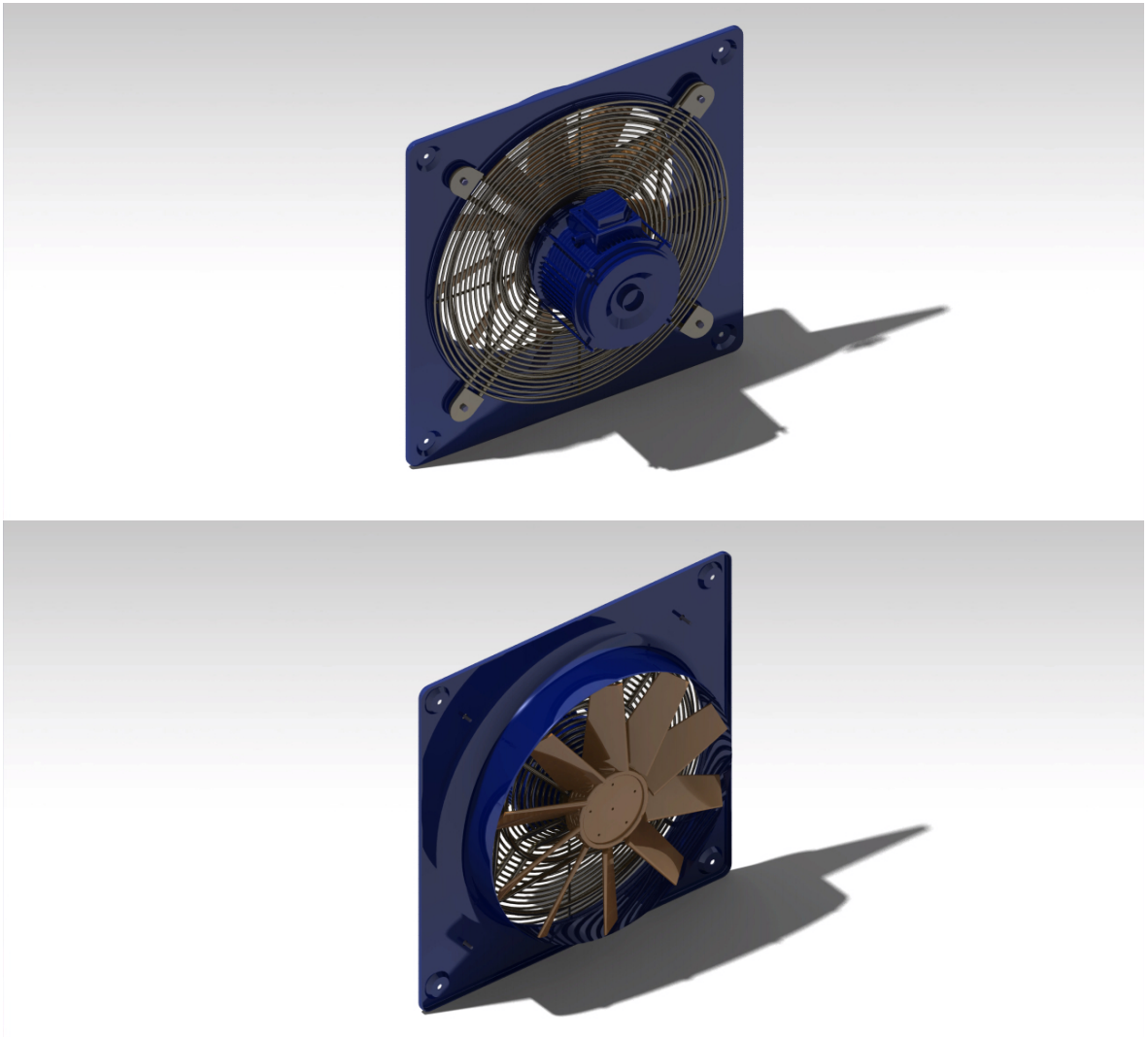
Maquina de humo

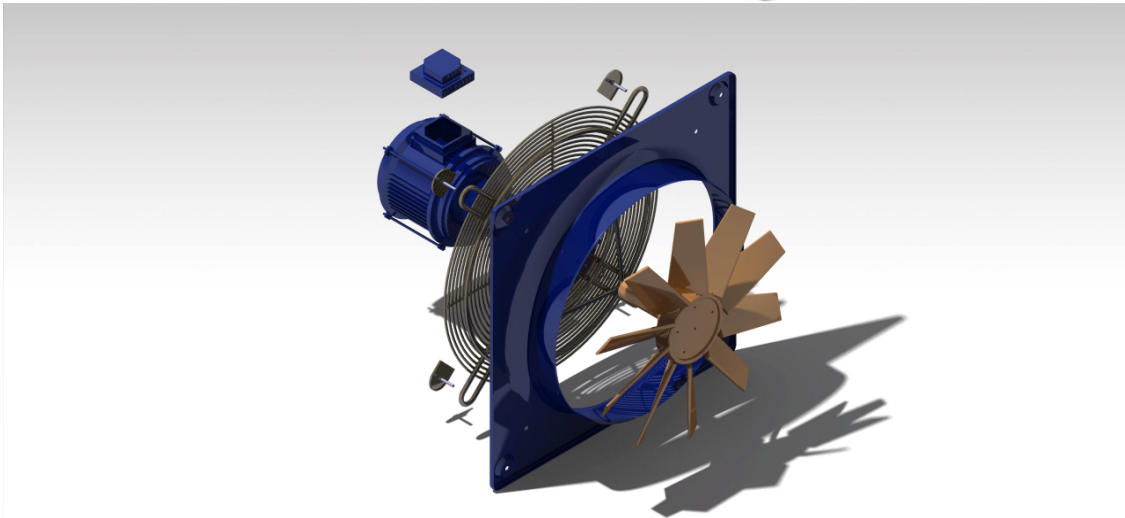
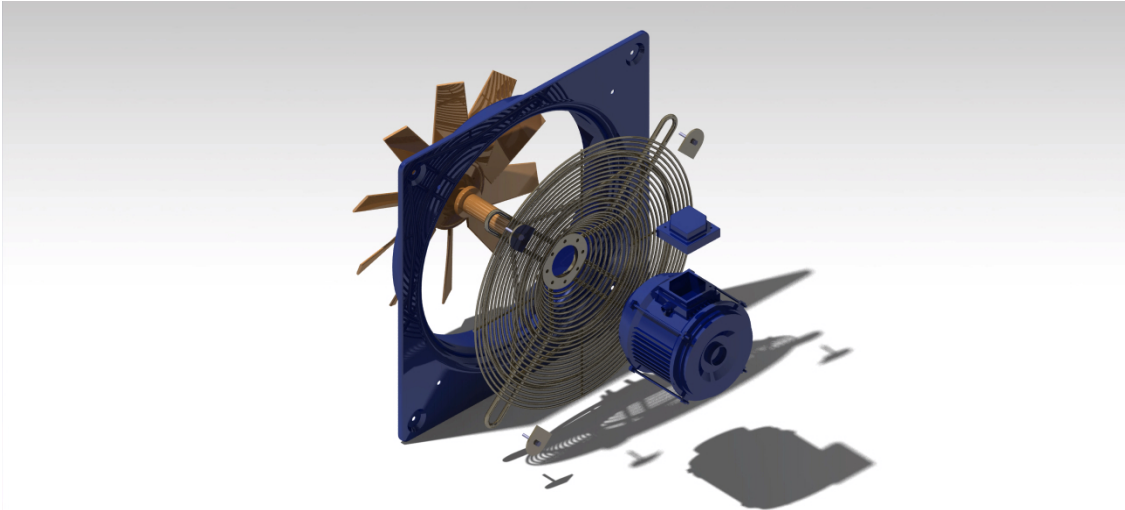


Tunel Completo



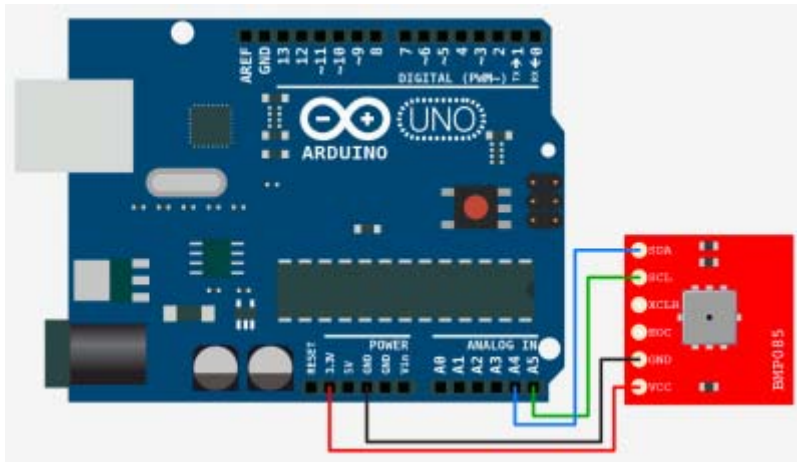
Ventilador





SENSORES

Sensor de presion



```
Codi go
//Ardui no 1.0+ Onl y
//Ardui no 1.0+ Onl y

/*Based l argely on code by Jim Lindblom

Get pressure, altitude, and temperature from the BMP085.
Serial.print it out at 9600 baud to serial monitor.
*/

#include <Wi re. h>

#define BMP085_ADDRESS 0x77 // I2C address of BMP085

const unsigned char OSS = 0; // Oversampling Setting

// Calibration values
int ac1;
int ac2;
int ac3;
unsigned int ac4;
unsigned int ac5;
unsigned int ac6;
int b1;
int b2;
int mb;
int mc;
int md;

// b5 is calculated in bmp085GetTemperature(...), this variable is also used in
bmp085GetPressure(...)
// so ...Temperature(...) must be called before ...Pressure(...).
long b5;

void setup(){
  Seri al .begi n(9600);
  Wi re .begi n();

  bmp085Cal i brati on();
}

void loop()
{
  float temperature = bmp085GetTemperature(bmp085ReadUT()); //MUST be called first
  float pressure = bmp085GetPressure(bmp085ReadUP());
  float atm = pressure / 101325; // "standard atmosphere"
  float al ti tude = cal cAl ti tude(pressure); //Uncompensated caculation - in Meters

  Seri al .pri nt("Temperature: ");
  Seri al .pri nt(temperature, 2); //di spl ay 2 deci mal pl aces
  Seri al .pri ntln("deg C");

  Seri al .pri nt("Pressure: ");
  Seri al .pri nt(pressure, 0); //whol e number onl y.
  Seri al .pri ntln(" Pa");
}
```

```

    Serial.print("Standard Atmosphere: ");
    Serial.println(atm, 4); //display 4 decimal places

    Serial.print("Altitude: ");
    Serial.println(altitude, 2); //display 2 decimal places
    Serial.println(" M");

    Serial.println(); //line break

    delay(1000); //wait a second and get values again.
}

// Stores all of the bmp085's calibration values into global variables
// Calibration values are required to calculate temp and pressure
// This function should be called at the beginning of the program
void bmp085Calibration()
{
    ac1 = bmp085ReadInt(0xAA);
    ac2 = bmp085ReadInt(0xAC);
    ac3 = bmp085ReadInt(0xAE);
    ac4 = bmp085ReadInt(0xB0);
    ac5 = bmp085ReadInt(0xB2);
    ac6 = bmp085ReadInt(0xB4);
    b1 = bmp085ReadInt(0xB6);
    b2 = bmp085ReadInt(0xB8);
    mb = bmp085ReadInt(0xBA);
    mc = bmp085ReadInt(0xBC);
    md = bmp085ReadInt(0xBE);
}

// Calculate temperature in deg C
float bmp085GetTemperature(unsigned int ut){
    long x1, x2;

    x1 = (((long)ut - (long)ac6)*(long)ac5) >> 15;
    x2 = ((long)mc << 11)/(x1 + md);
    b5 = x1 + x2;

    float temp = ((b5 + 8)>>4);
    temp = temp /10;

    return temp;
}

// Calculate pressure given up
// calibration values must be known
// b5 is also required so bmp085GetTemperature(...) must be called first.
// Value returned will be pressure in units of Pa.
long bmp085GetPressure(unsigned long up){
    long x1, x2, x3, b3, b6, p;
    unsigned long b4, b7;

    b6 = b5 - 4000;
    // Calculate B3
    x1 = (b2 * (b6 * b6)>>12)>>11;
    x2 = (ac2 * b6)>>11;
    x3 = x1 + x2;
    b3 = (((((long)ac1)*4 + x3)<<0SS) + 2)>>2;

    // Calculate B4
    x1 = (ac3 * b6)>>13;
    x2 = (b1 * ((b6 * b6)>>12))>>16;
    x3 = ((x1 + x2) + 2)>>2;
    b4 = (ac4 * (unsigned long)(x3 + 32768))>>15;

    b7 = ((unsigned long)(up - b3) * (5000>>0SS));
    if (b7 < 0x80000000)
        p = (b7<<1)/b4;
    else
        p = (b7/b4)<<1;

    x1 = (p>>8) * (p>>8);
    x1 = (x1 * 3038)>>16;
    x2 = (-7357 * p)>>16;
    p += (x1 + x2 + 3791)>>4;

    long temp = p;
    return temp;
}

// Read 1 byte from the BMP085 at 'address'
char bmp085Read(unsigned char address)
{
    unsigned char data;

    Wire.beginTransmission(BMP085_ADDRESS);

```

```

    Wire.write(address);
    Wire.endTransmission();

    Wire.requestFrom(BMP085_ADDRESS, 1);
    while(!Wire.available())
        ;

    return Wire.read();
}

// Read 2 bytes from the BMP085
// First byte will be from 'address'
// Second byte will be from 'address'+1
int bmp085ReadInt(unsigned char address)
{
    unsigned char msb, lsb;

    Wire.beginTransmission(BMP085_ADDRESS);
    Wire.write(address);
    Wire.endTransmission();

    Wire.requestFrom(BMP085_ADDRESS, 2);
    while(Wire.available() < 2)
        ;
    msb = Wire.read();
    lsb = Wire.read();

    return (int) msb<<8 | lsb;
}

// Read the uncompensated temperature value
unsigned int bmp085ReadUT(){
    unsigned int ut;

    // Write 0x2E into Register 0xF4
    // This requests a temperature reading
    Wire.beginTransmission(BMP085_ADDRESS);
    Wire.write(0xF4);
    Wire.write(0x2E);
    Wire.endTransmission();

    // Wait at least 4.5ms
    delay(5);

    // Read two bytes from registers 0xF6 and 0xF7
    ut = bmp085ReadInt(0xF6);
    return ut;
}

// Read the uncompensated pressure value
unsigned long bmp085ReadUP(){
    unsigned char msb, lsb, xlsb;
    unsigned long up = 0;

    // Write 0x34+(OSS<<6) into register 0xF4
    // Request a pressure reading w/ oversampling setting
    Wire.beginTransmission(BMP085_ADDRESS);
    Wire.write(0xF4);
    Wire.write(0x34 + (OSS<<6));
    Wire.endTransmission();

    // Wait for conversion, delay time dependent on OSS
    delay(2 + (3<<OSS));

    // Read register 0xF6 (MSB), 0xF7 (LSB), and 0xF8 (XLSB)
    msb = bmp085Read(0xF6);
    lsb = bmp085Read(0xF7);
    xlsb = bmp085Read(0xF8);

    up = (((unsigned long) msb << 16) | ((unsigned long) lsb << 8) | (unsigned long) xlsb)
    >> (8-OSS);

    return up;
}

void writeRegister(int deviceAddress, byte address, byte val) {
    Wire.beginTransmission(deviceAddress); // start transmission to device
    Wire.write(address); // send register address
    Wire.write(val); // send value to write
    Wire.endTransmission(); // end transmission
}

int readRegister(int deviceAddress, byte address){
    int v;
    Wire.beginTransmission(deviceAddress);

```

```

Wire.write(address); // register to read
Wire.endTransmission();

Wire.requestFrom(deviceAddress, 1); // read a byte

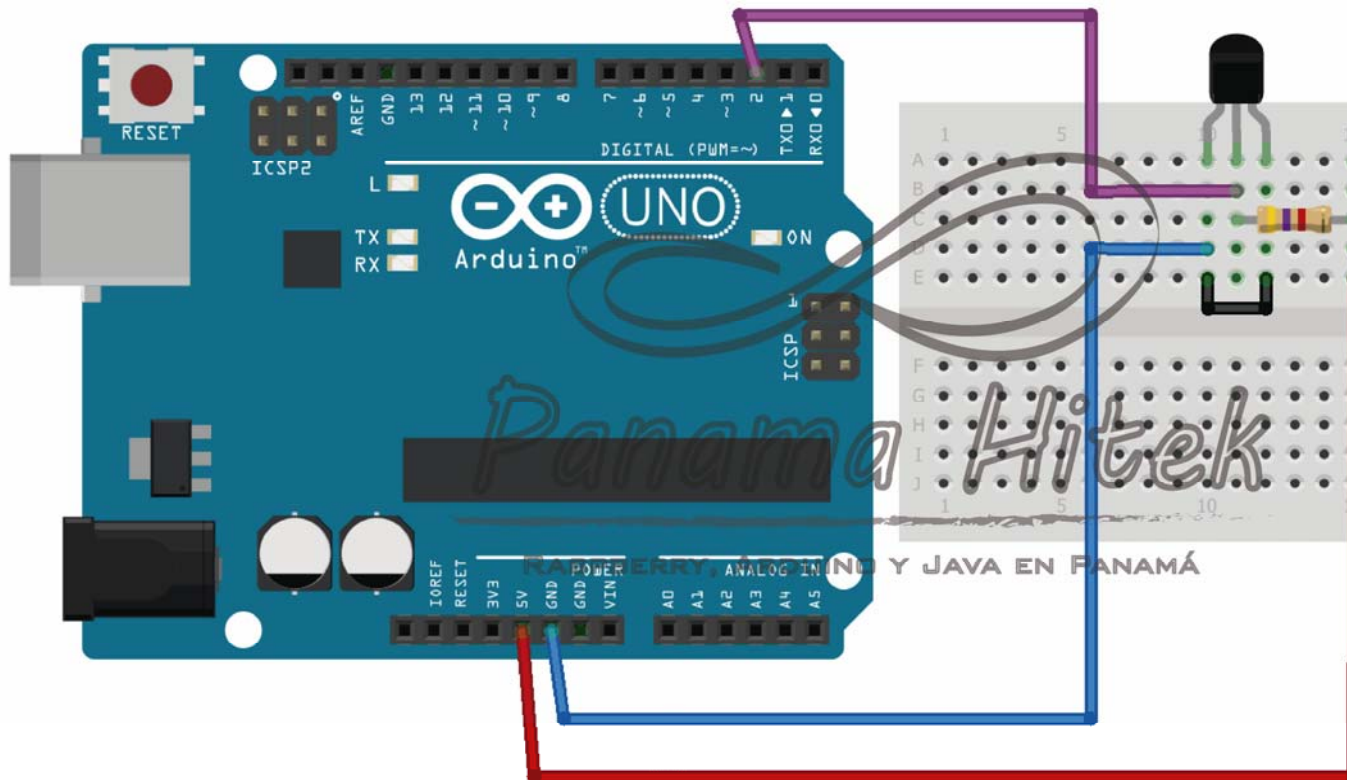
while(!Wire.available()) {
  // waiting
}

v = Wire.read();
return v;
}

float calculateAltitude(float pressure){
  float A = pressure/101325;
  float B = 1/5.25588;
  float C = pow(A, B);
  C = 1 - C;
  C = C / 0.0000225577;
  return C;
}

```

Sensor de temperatura



Codigo

```

#include <OneWire.h> //Se importan las librerías
#include <DallasTemperature.h>

#define Pin 2 //Se declara el pin donde se conectará la DATA

OneWire ourWire(Pin); //Se establece el pin declarado como bus para la comunicación
OneWire

DallasTemperature sensors(&ourWire); //Se instancia la librería DallasTemperature

void setup() {
  delay(1000);
  Serial.begin(9600);
  sensors.begin(); //Se inician los sensores
}

void loop() {
  sensors.requestTemperatures(); //Prepara el sensor para la lectura
}

```



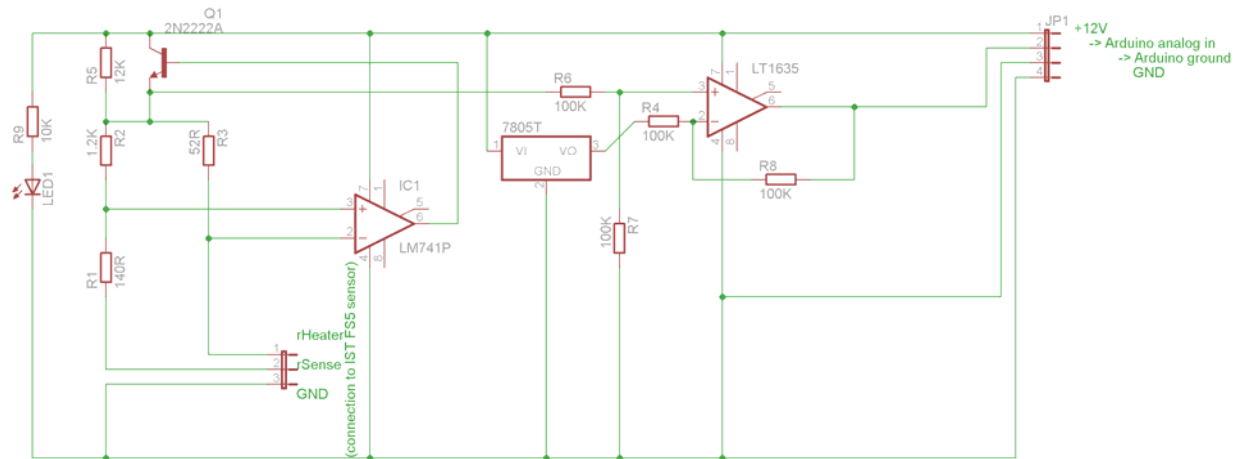
```

Serial.print(sensors.getTempCByIndex(0)); //Se lee e imprime la temperatura en grados
Celsius
Serial.println(" grados Centigrados");
Serial.print(sensors.getTempFByIndex(0)); //Se lee e imprime la temperatura en grados
Fahrenheit
Serial.println(" grados Fahrenheit");

delay(1000); //Se provoca un lapso de 1 segundo antes de la próxima lectura
}

```

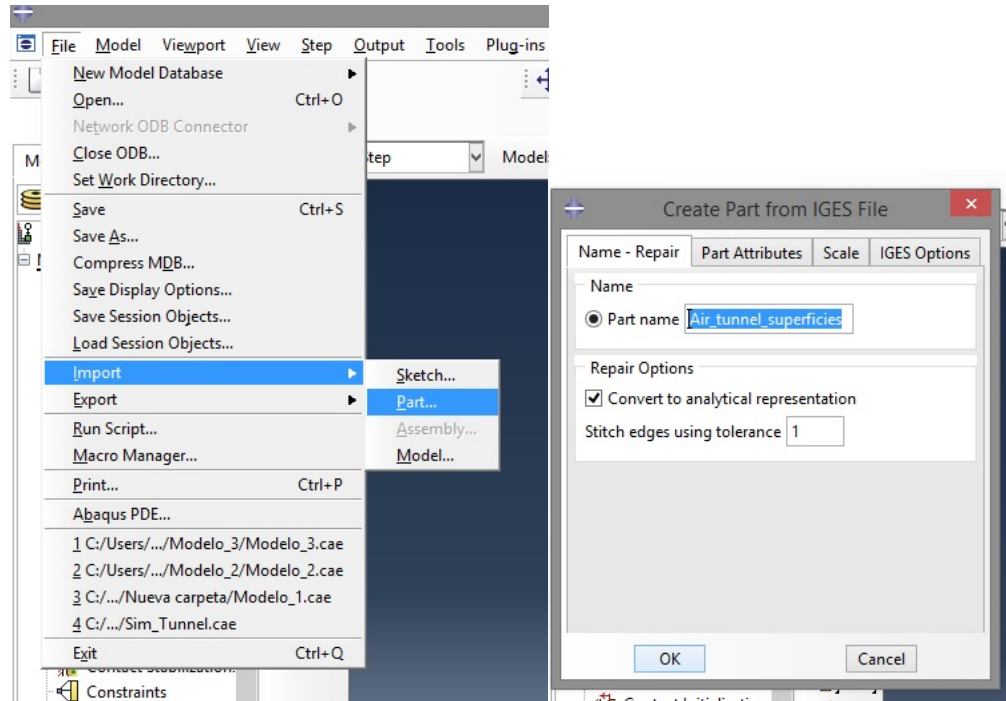
Sensor de flujo



SIMULACIONES ABAQUS

Procedimientos Simulacion Abaqus

Creamos o cargamos una pieza.



Creamos el material:

Module : Property

Material --> Create...

Nombramos el material (name)

General --> Density (Valor de la densidad)

Mechanical --> Viscosity (Valor de la viscosidad)

Ok

Edit Material

Name: Air

Description:

Material Behaviors

Density

General

Mechanical

Thermal

Electrical/Magnetic

Other

Density

Distribution: Uniform

☐ Use temperature-dependent data

Number of field variables: 0

	Mass Density
1	1.225

OK

Cancel

Material

Manager...

Create...

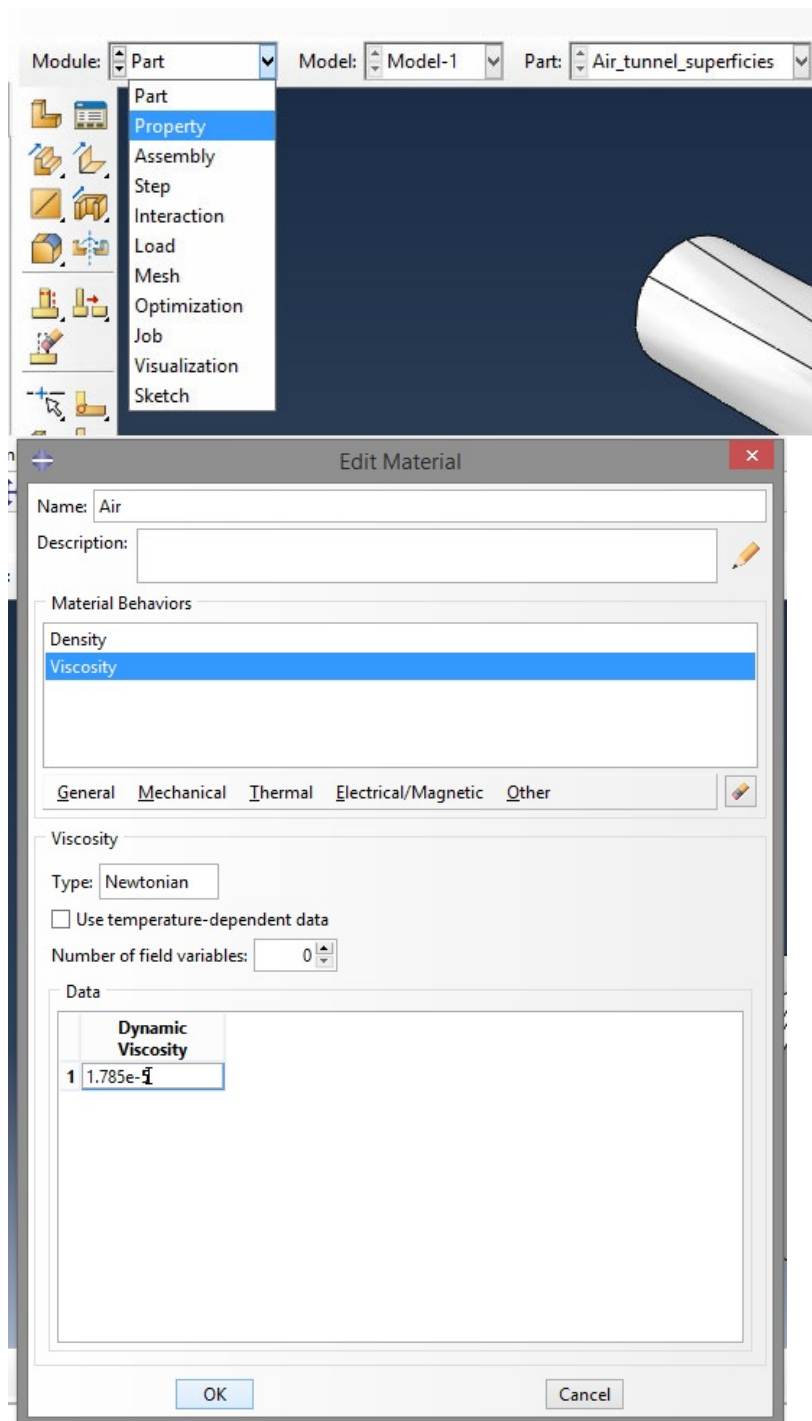
Edit

Copy

Rename

Delete

Evaluate



Creamos la seccion:

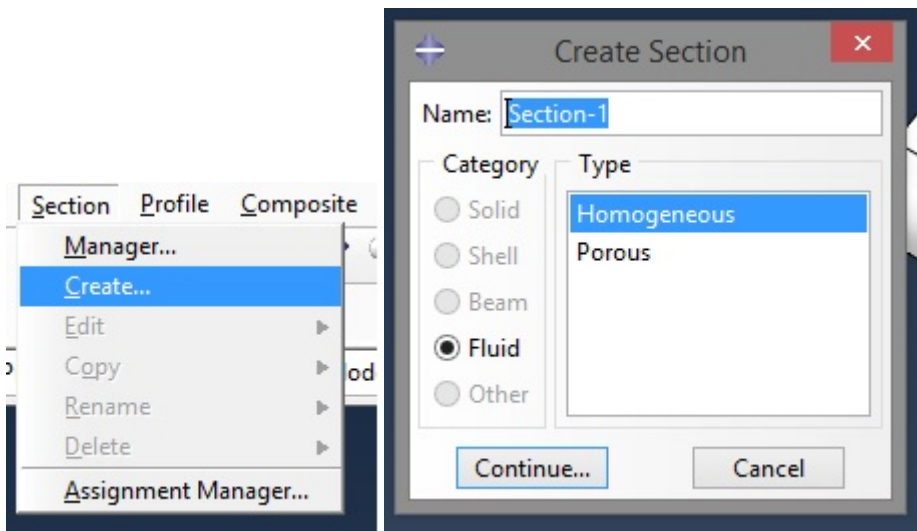
Seccion --> Create

Nombramos a la seccion igual que el material

Continue...

En la ventana Edit seleccionamos el material

Ok



Asignamos la seccion:

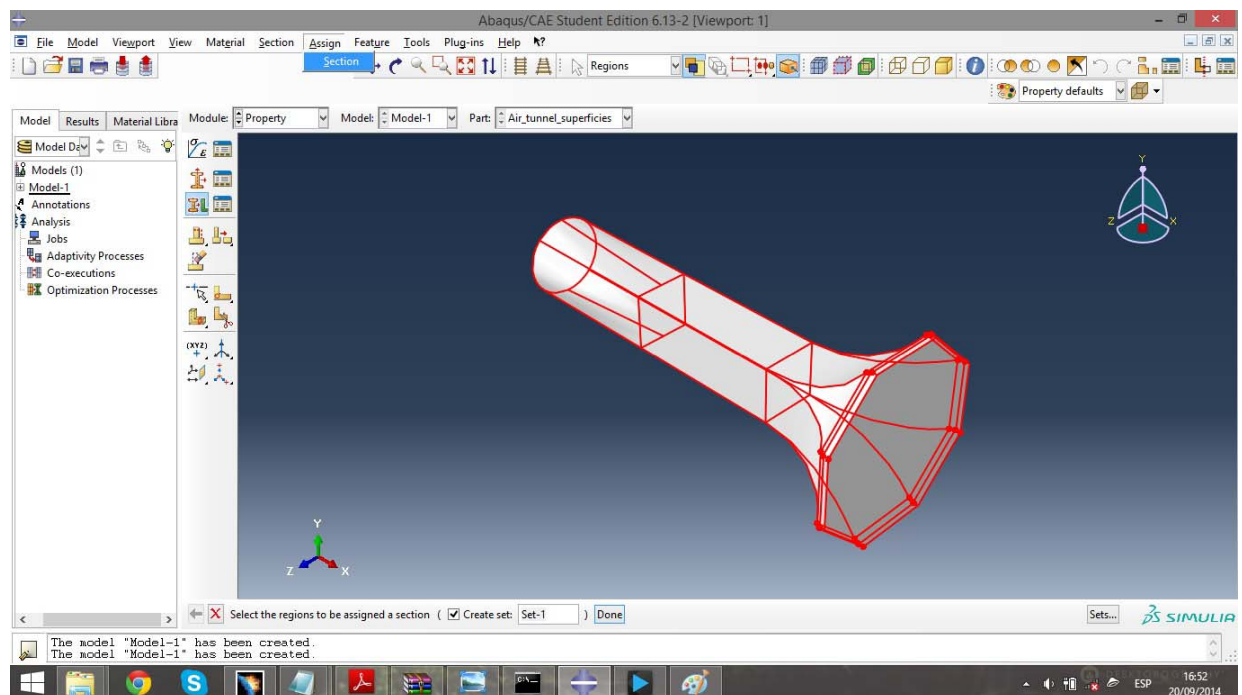
Assign --> Section

Clicamos sobre la pieza

Done (El boton en la seccion de dialogo bajo la pieza)

En la ventana Edit que aparece clicamos Ok

La pieza adquiere un tono verde.



Creamos las superficies:

En el arbol --> Parts --> Nombre del Part --> Doble clic sobre surface

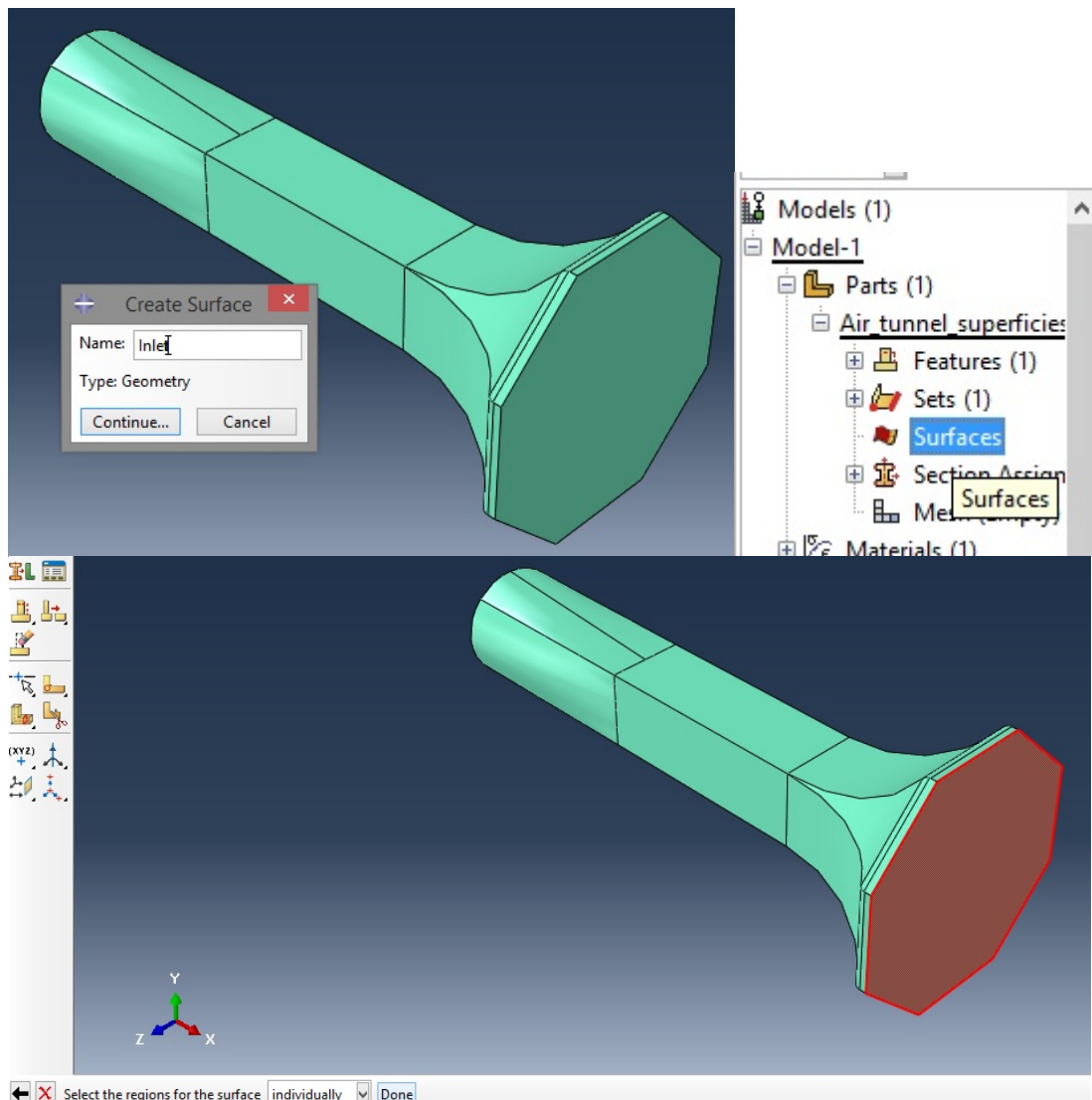
Nombramos la superficie.

Continue...

Sobre la figura seleccionamos la seccion o secciones.

Para seleccionar mas de una seccion mantener presionado Shift.

Done...



Creamos la malla (Mesh):

Module: Mesh

Mesh --> Controls

Seleccionamos el tipo de geometria de la malla.

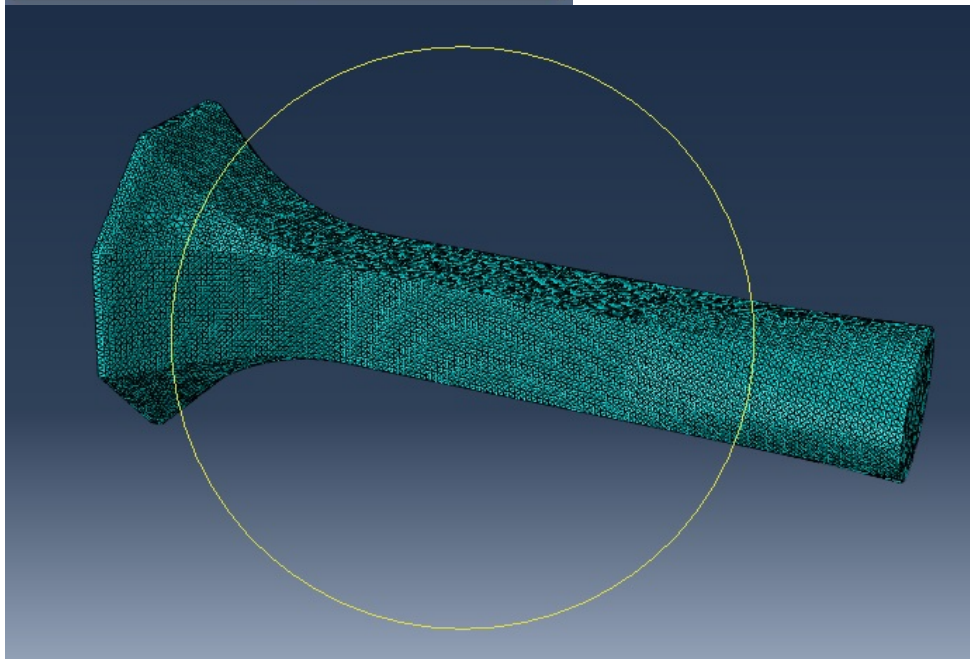
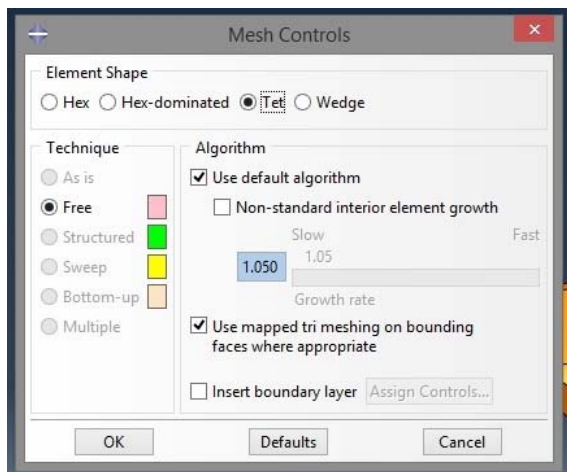
Ok...

Seed --> Part

Introducimos el tamaño de las celdas.

Ok...

Mesh --> Part --> (En la barra de dialogo bajo la pieza) Yes



Creamos los pasos (Steps):

Module: Step

Doble click sobre Steps en el arbol

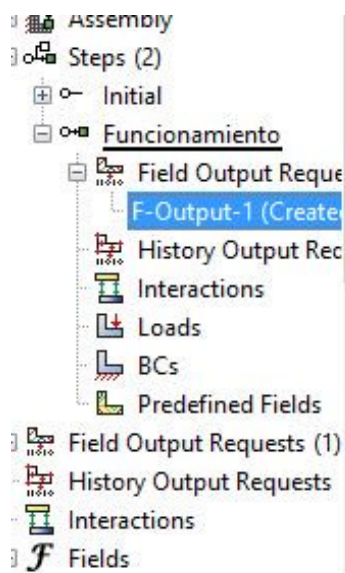
Nombramos el step y aplicamos el tipo de flujo.

En el caso de turbulento, asignamos el tipo de turbulencia.

Ok...

En el arbol --> Steps --> Step recién creado --> Field output request --> F
output1

Seleccionamos las características del flujo que queremos que simule Abaqus.



Edit Step

Name: Funcionamiento

Type: Flow

Basic Incrementation Solvers Turbulence

Turbulence Model

☐ None

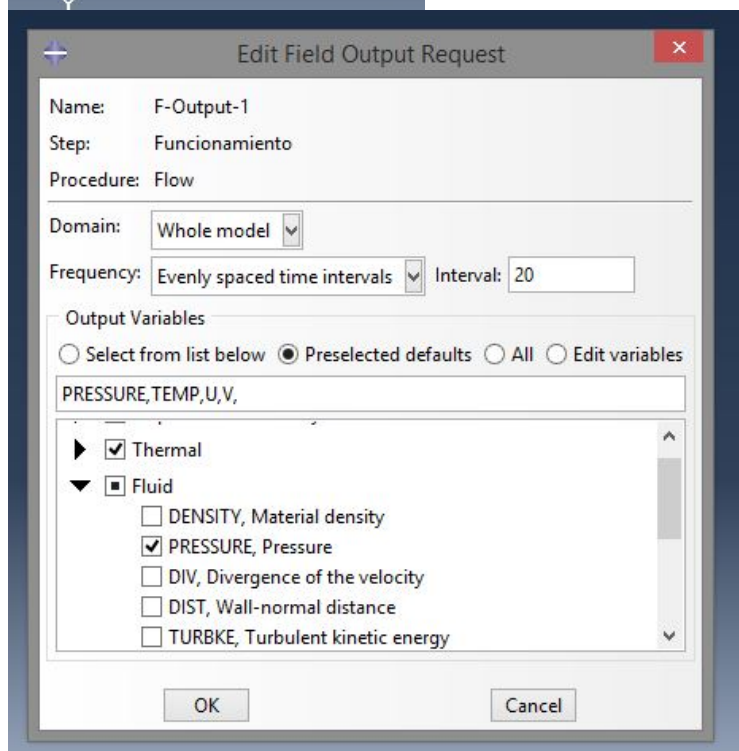
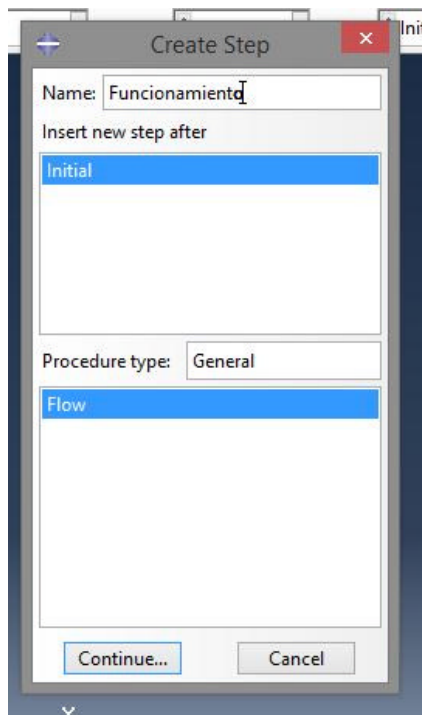
☒ Spalart-Allmaras

☐ k-epsilon renormalization group (RNG)

Constants

Cb1:	0.1355
Cb2:	0.622
Cv1:	7.1
Cv2:	5
Cw1:	3.2391
Cw2:	0.3
Cw3:	2
Sigma:	0.6667
Kappa:	0.41

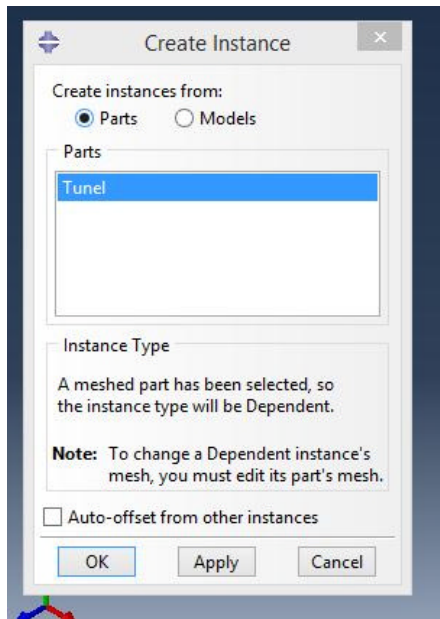
OK Defaults Cancel



Hacemos el ensamblaje (Assembly):

Module: Assembly

Instance --> Create. Seleccionamos el part que utilizamos para la simulacion.
Ok...



Creamos los boundary conditions de las superficies:

En el arbol --> Step que hemos creado --> BCs

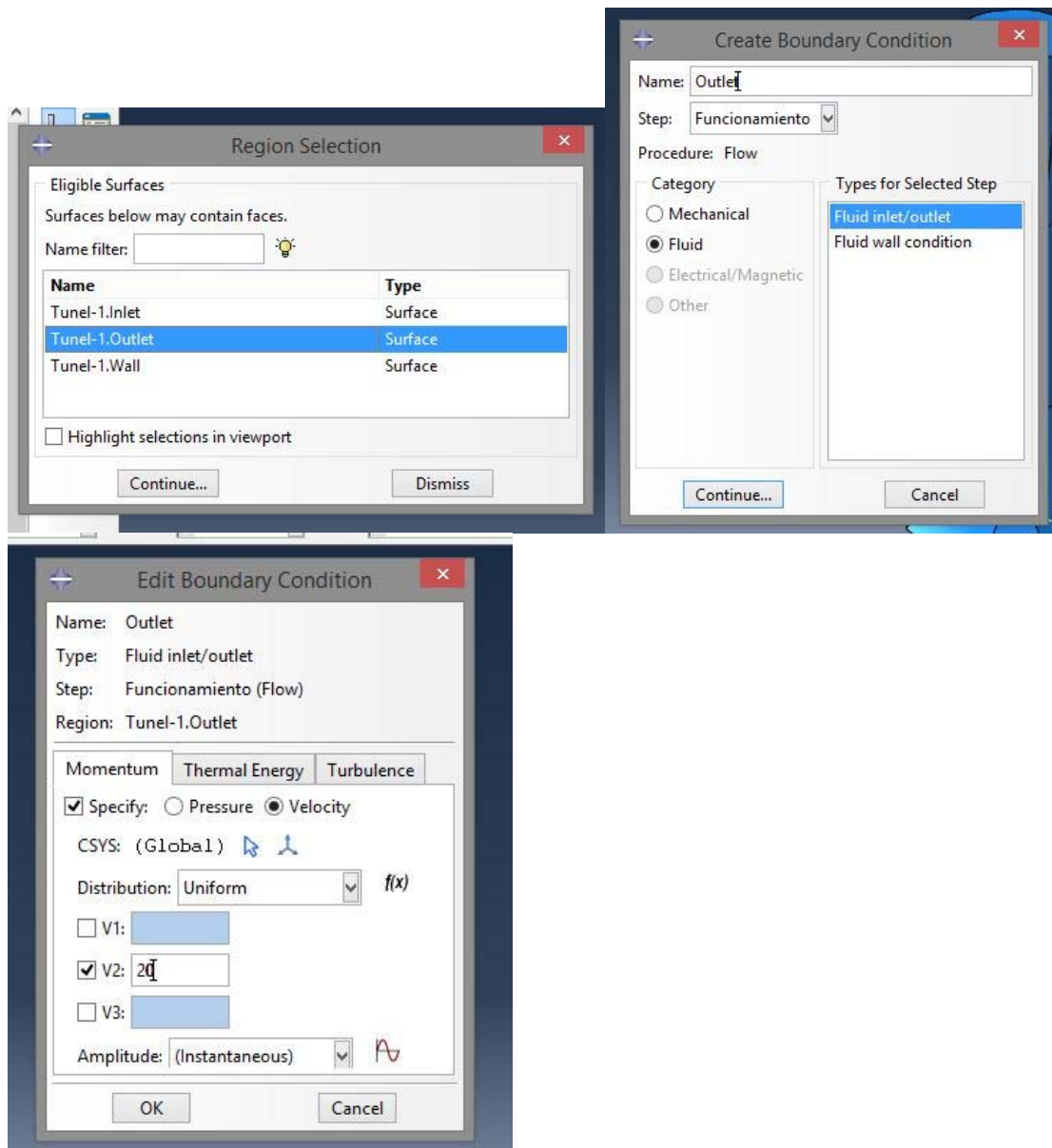
Seleccionamos fluid y el tipo de region: Inlet/Outlet o Wall.

Continue...

En la pestaña Momentum seleccionamos Pressure o Velocity y le asignamos un valor.

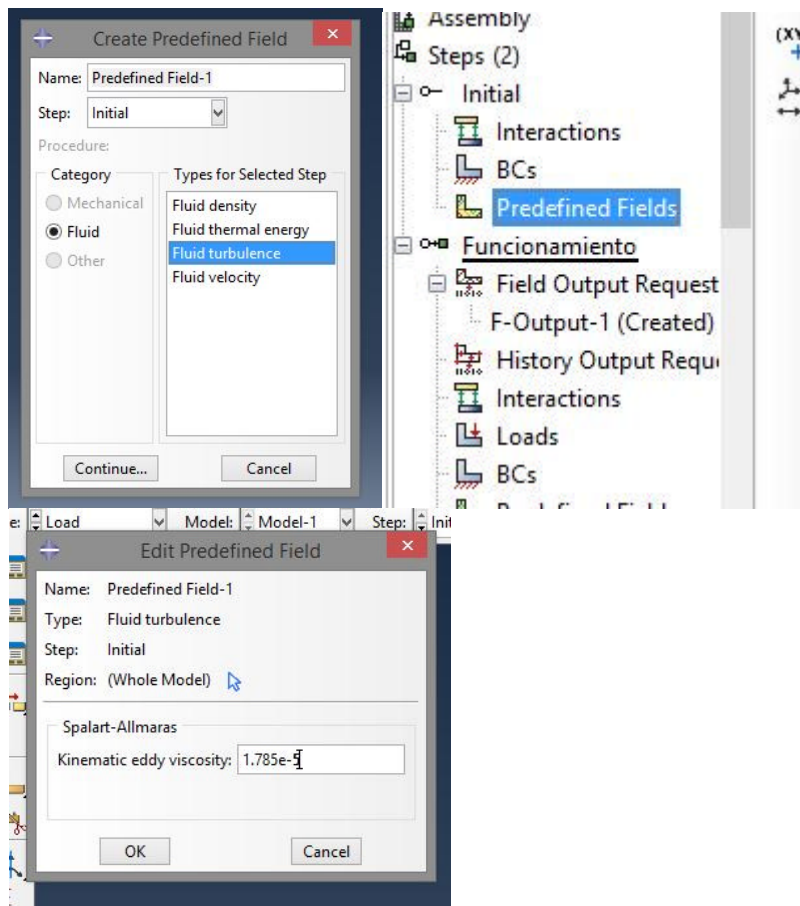
En la pestaña Turbulence introducimos el valor de la turbulencia.

Ok...



Creamos un escenario :

En el arbol --> Step ---> Intial --> Predefined Field
 Seleccionamos el tipo de fluido que queremos simular.
 De ser Fluid Turbulence seleccionamos el valor de la viscosidad.
 Ok...



Creamos un Job

Module : Job

Herramienta Job Manager

Create...

Nombramos el Job.

Continue...

Ok...

Cuando acabe el prossing.

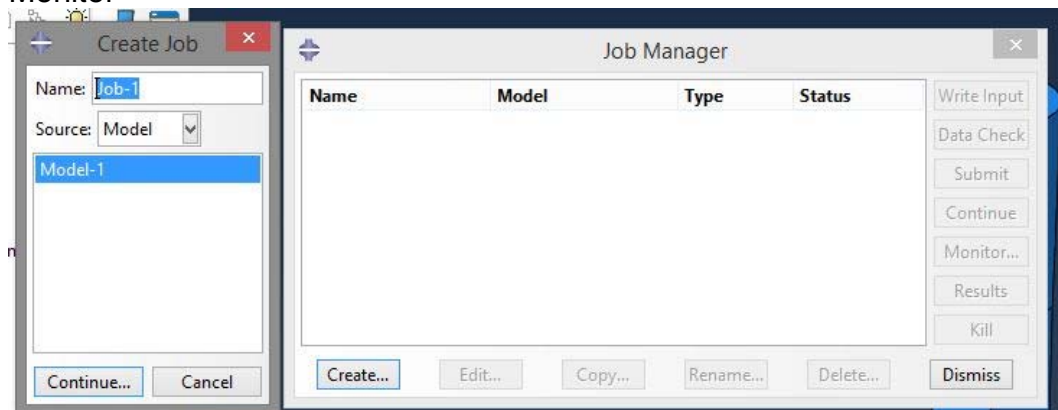
Submit...

Ok...

Results

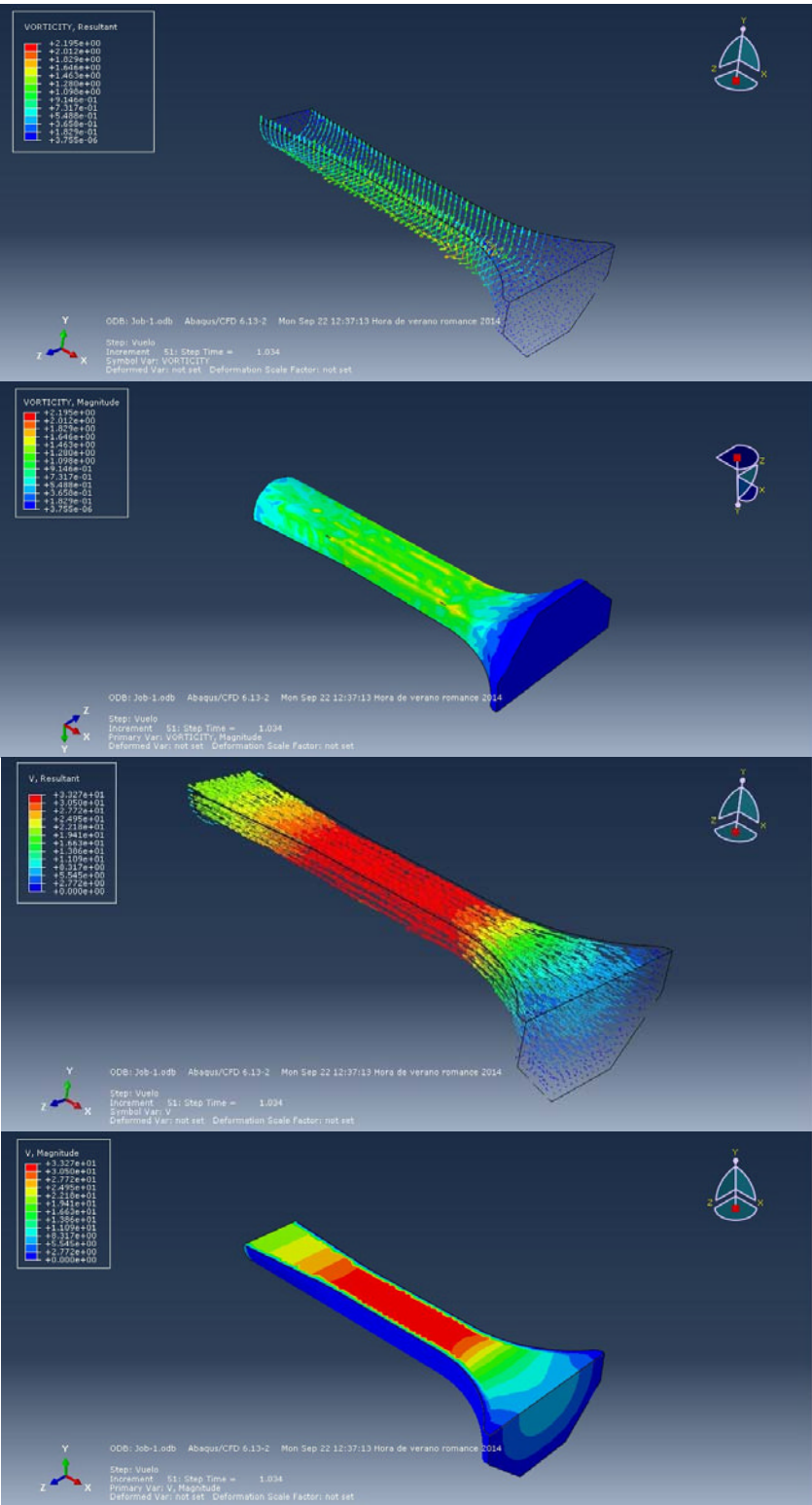
Ver la representacion grafica.

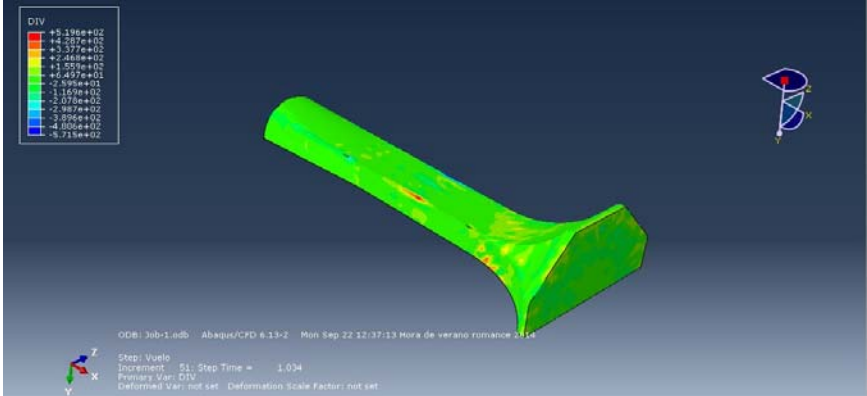
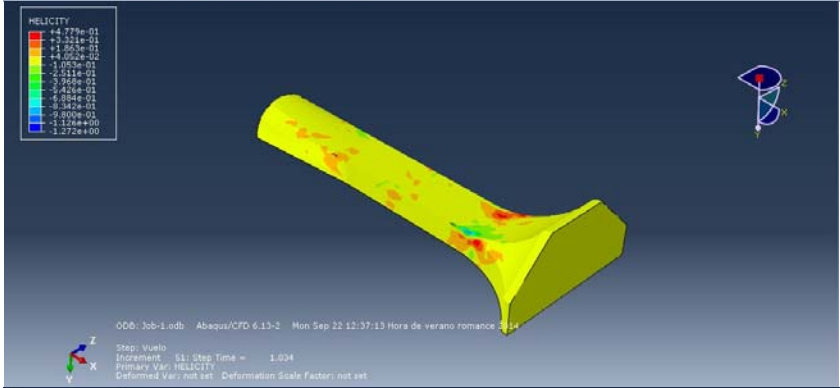
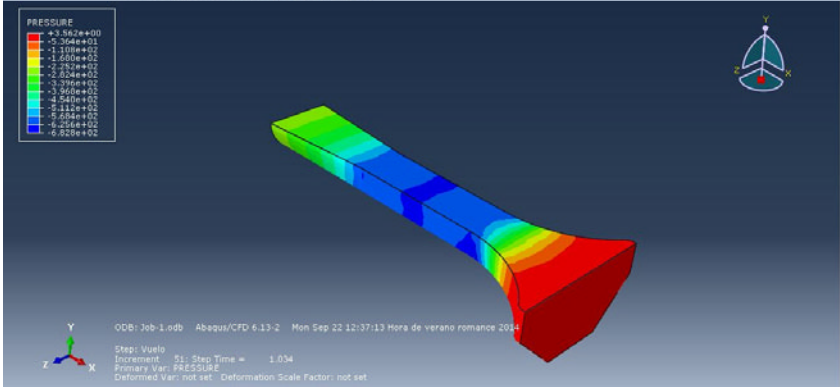
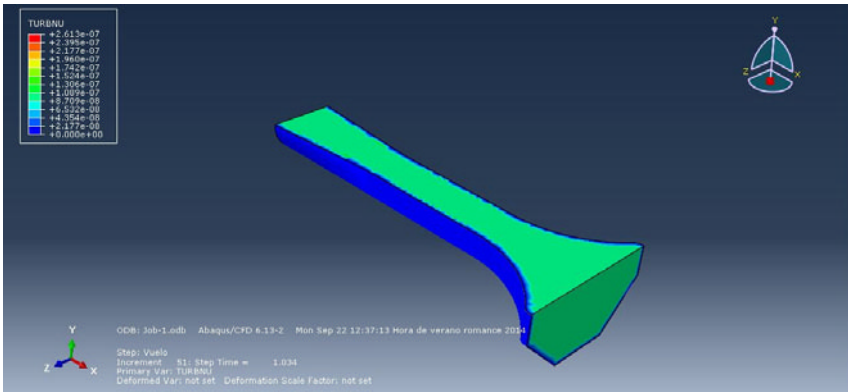
Monitor

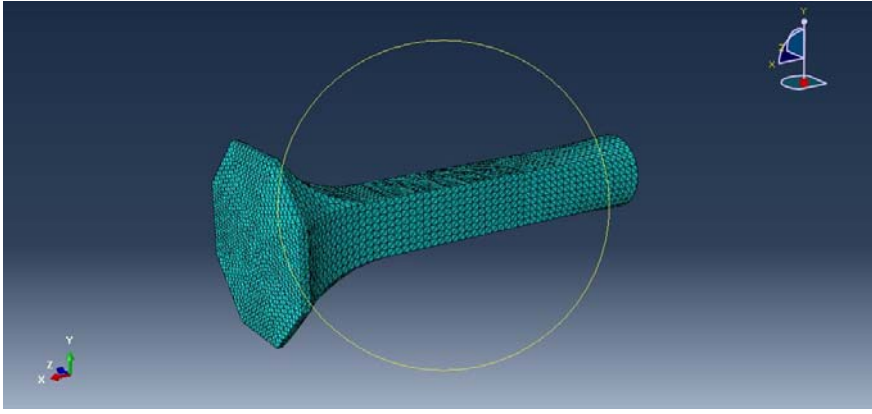


Resultados Abaqus Diseño del túnel

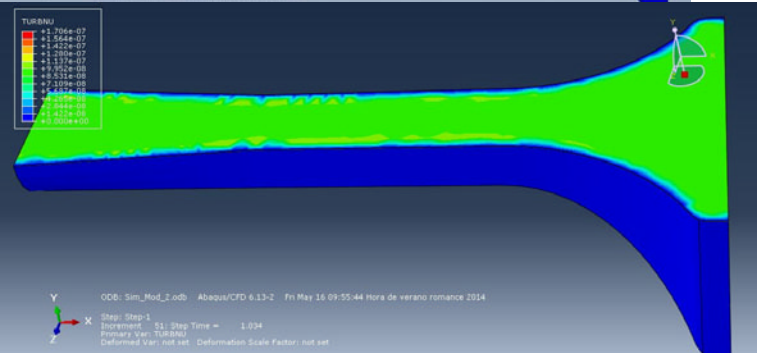
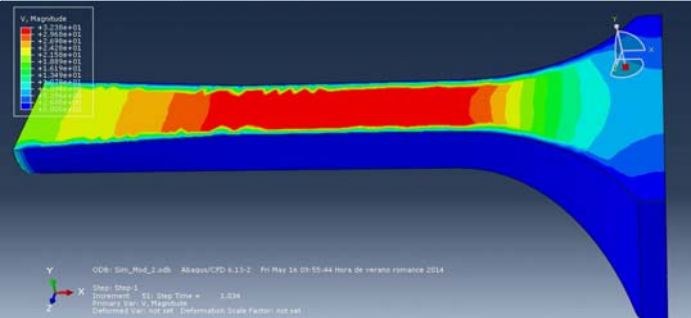
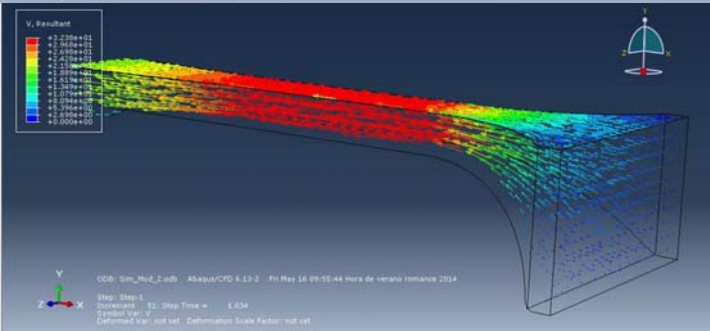
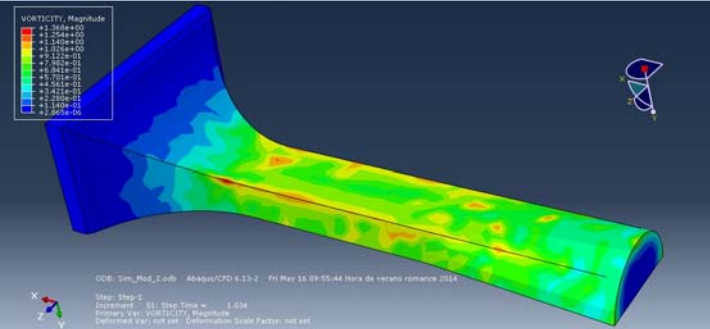
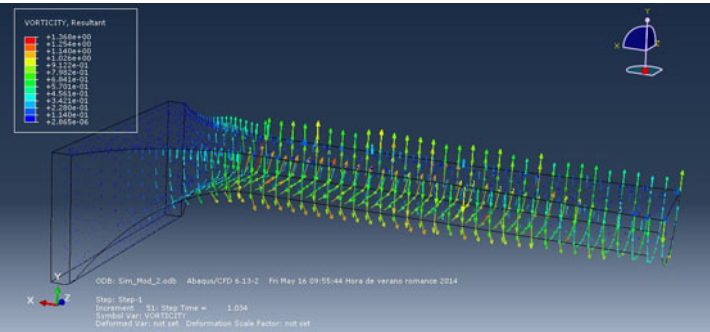
Modelo1

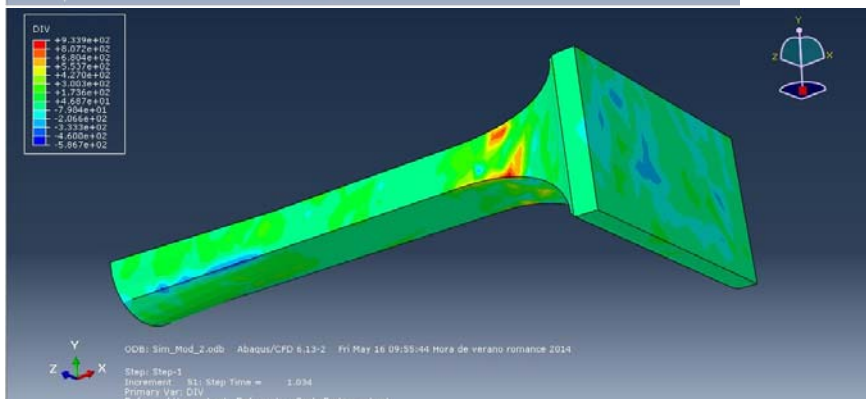




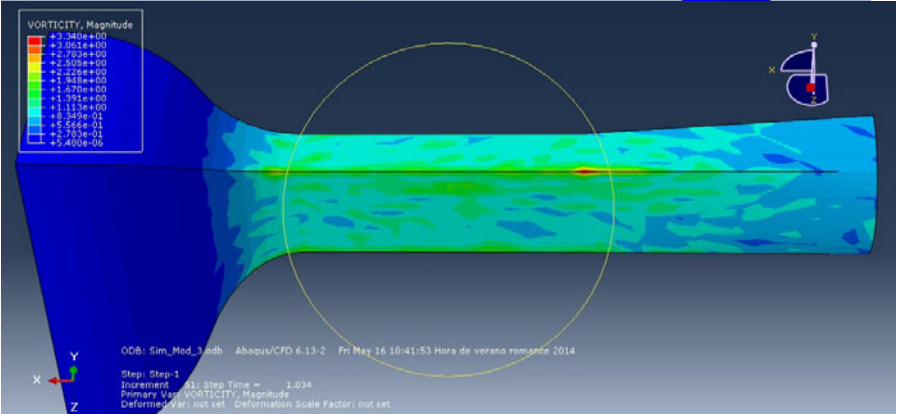
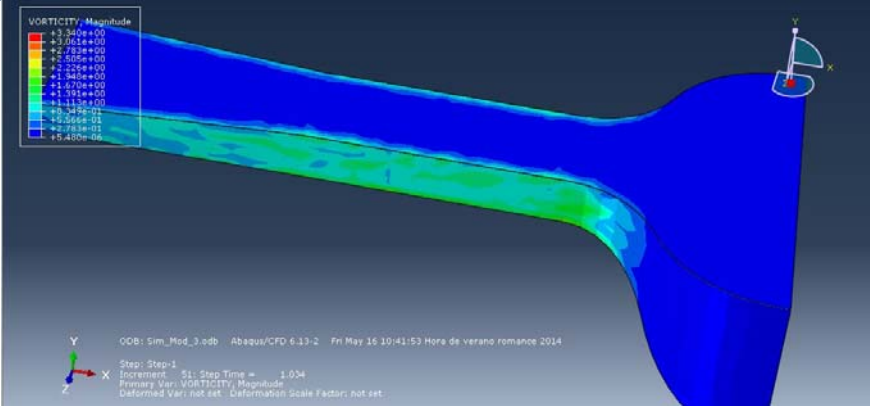
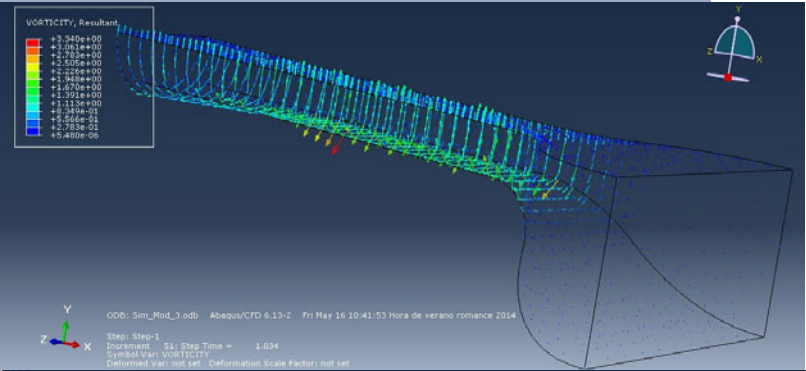
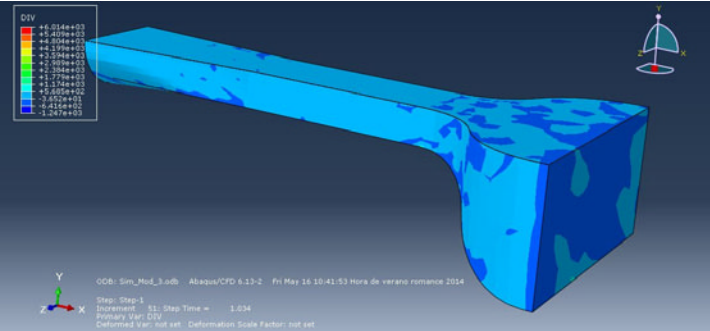


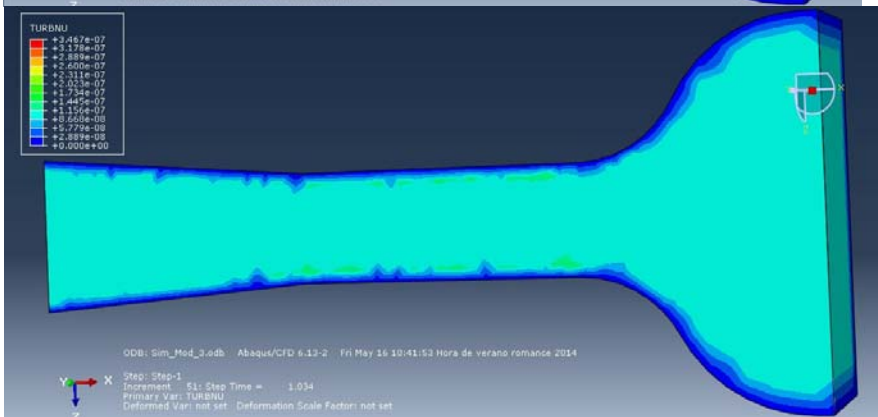
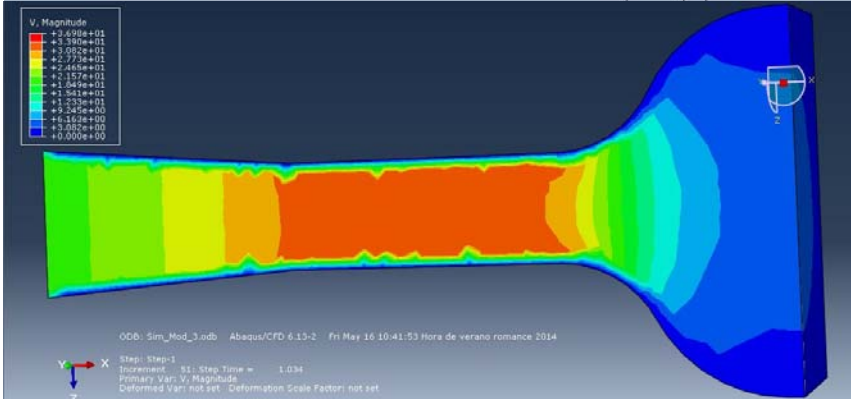
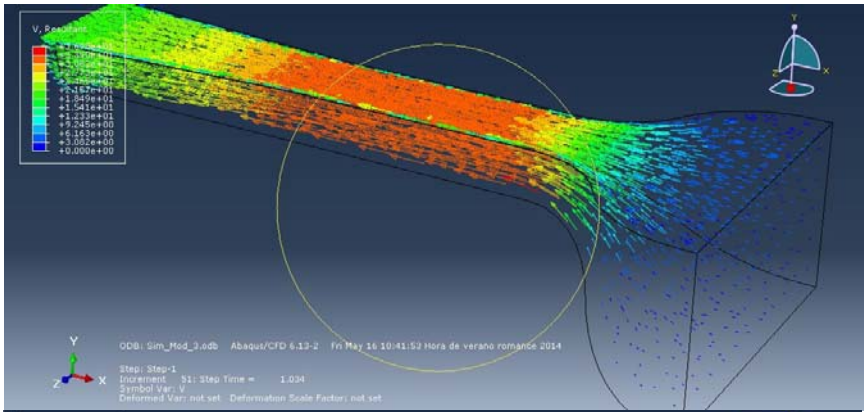
RESULTADOS MODELO 2

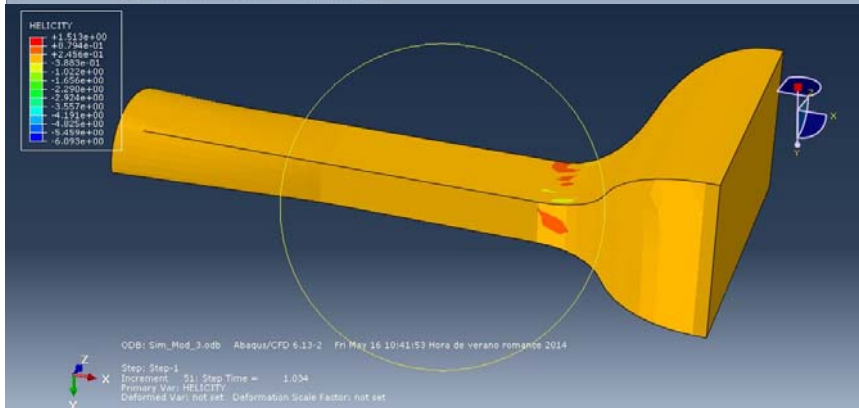
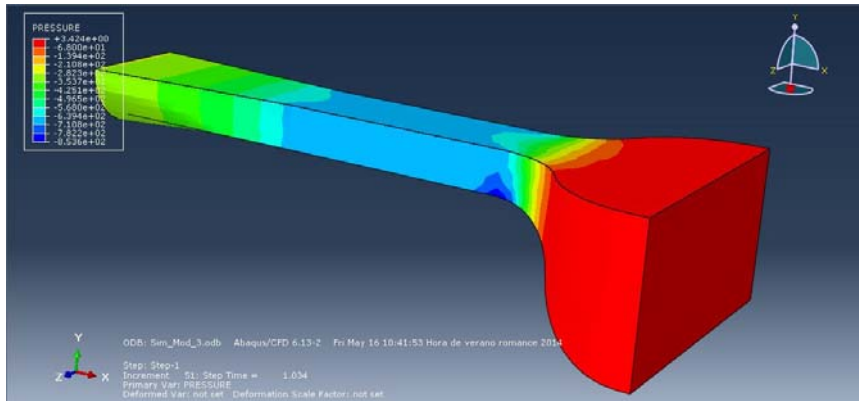




RESULTADOS MODELO3

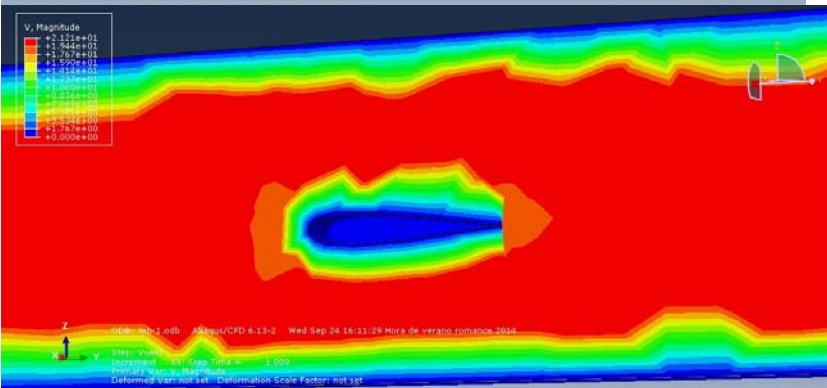
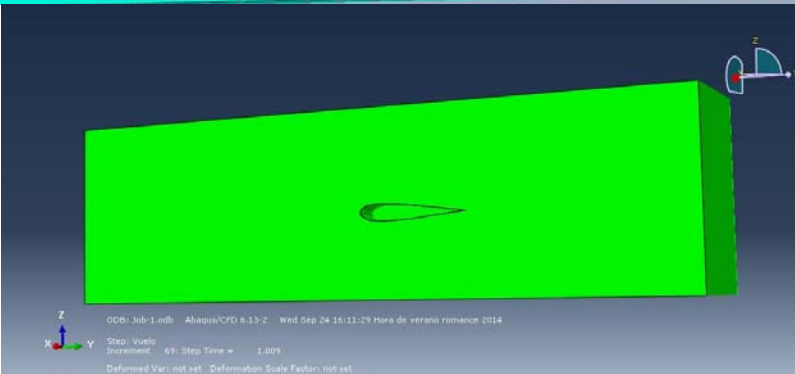
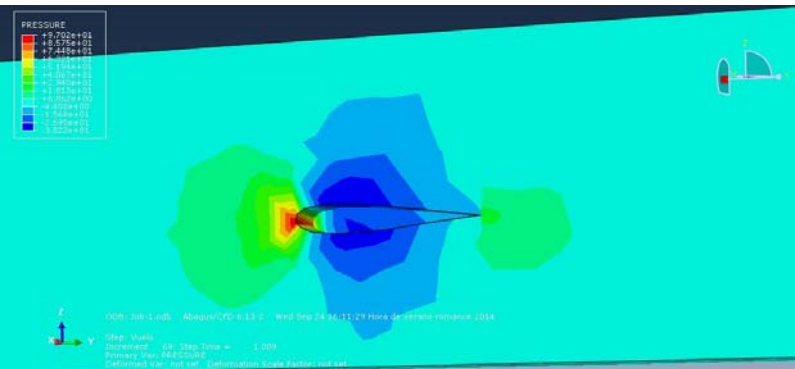




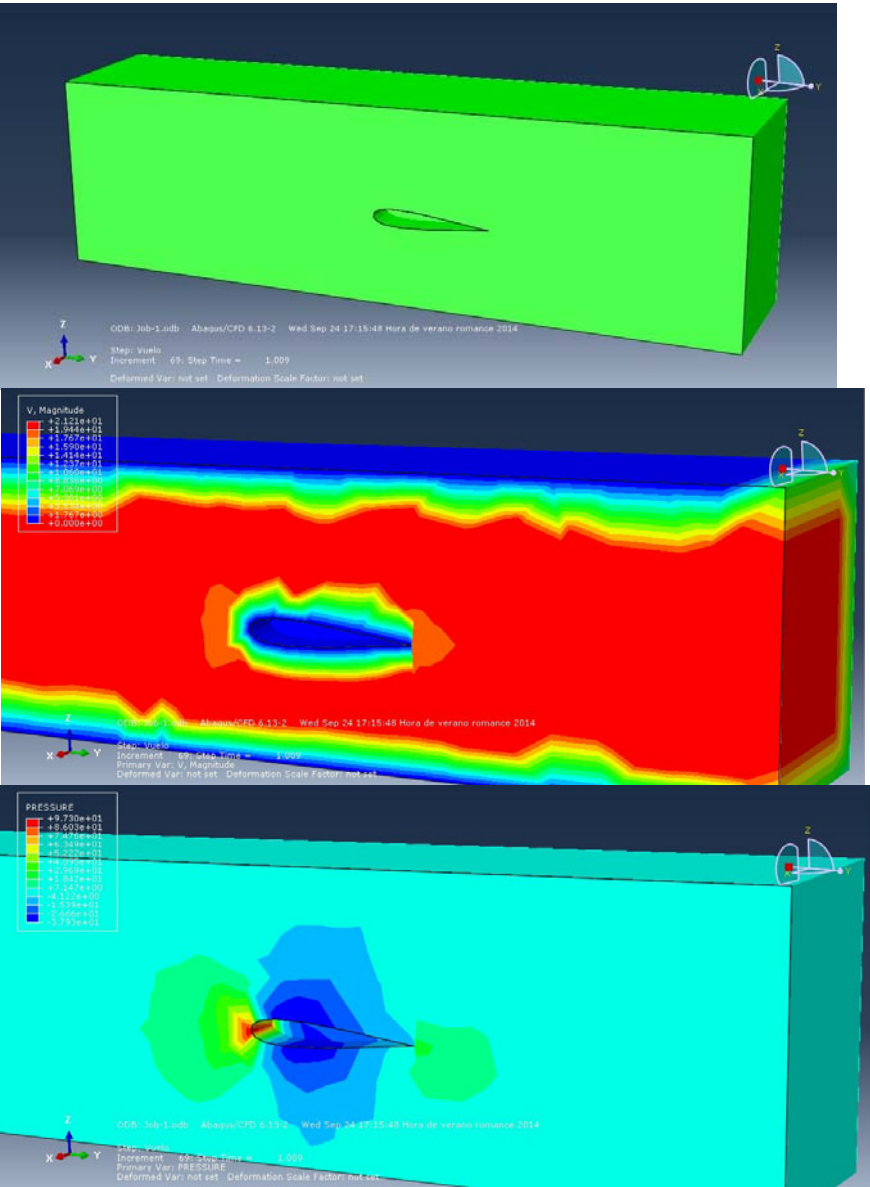


Resultados Abaqus Calibracion

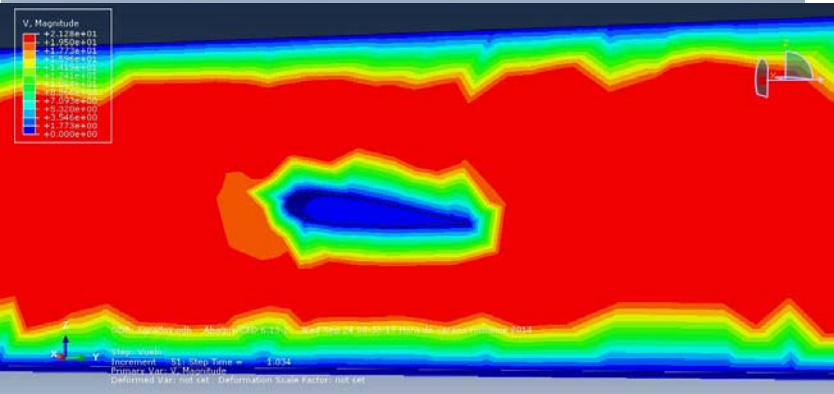
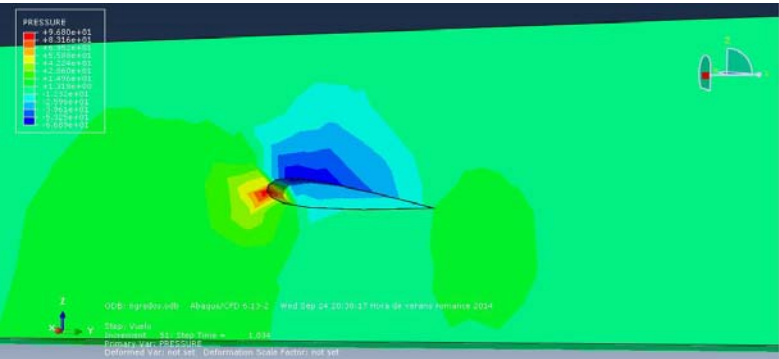
0 GRADOS



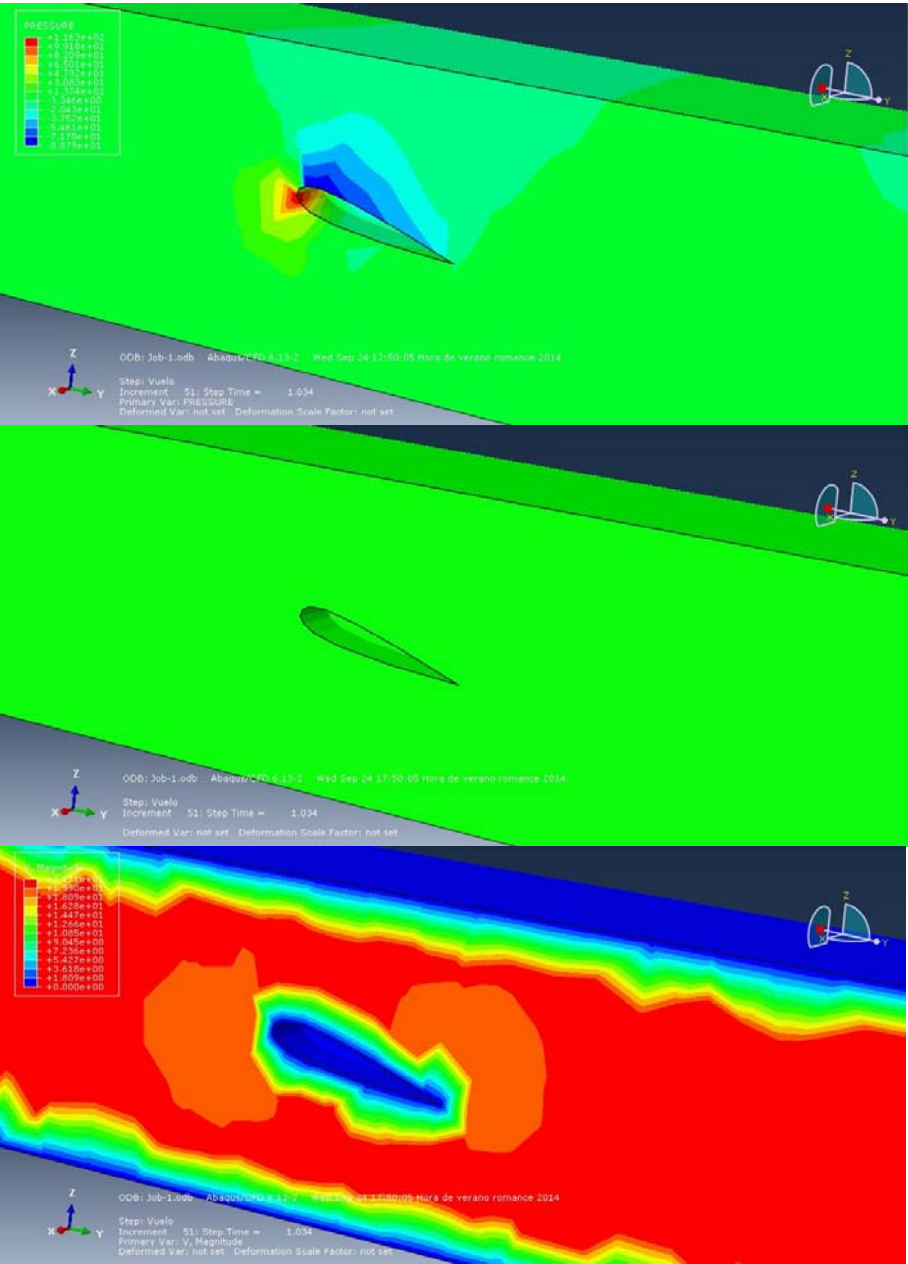
3 GRADOS



6 GRADOS

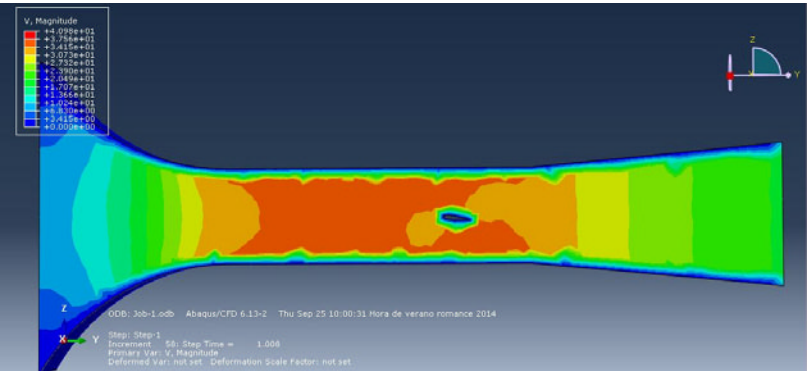
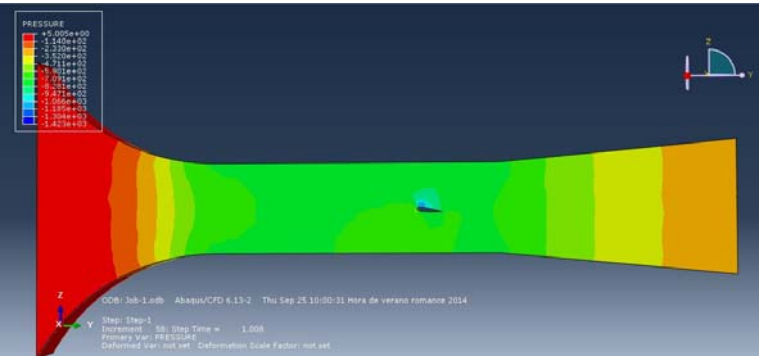


10 GRADOS

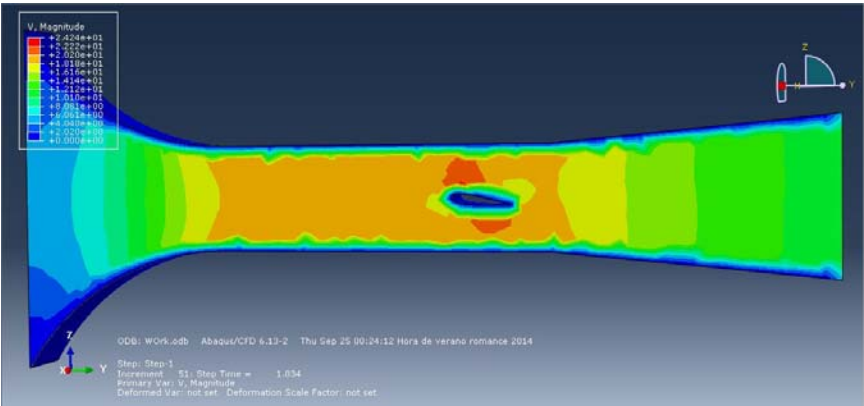
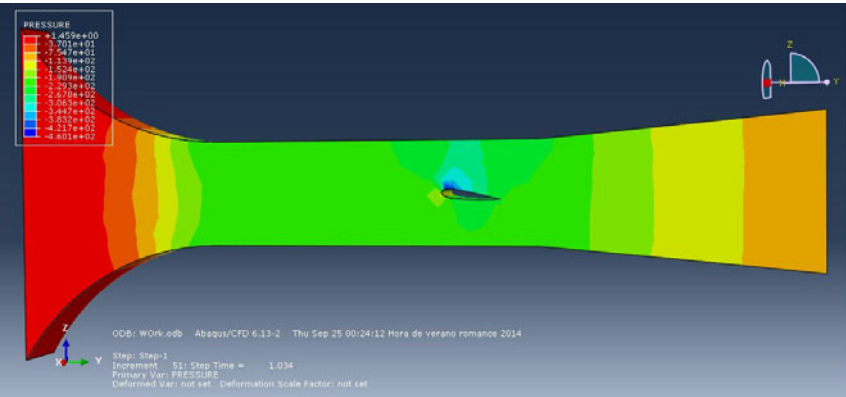


Resultados de Abaqus Condiciones del tunel de viento

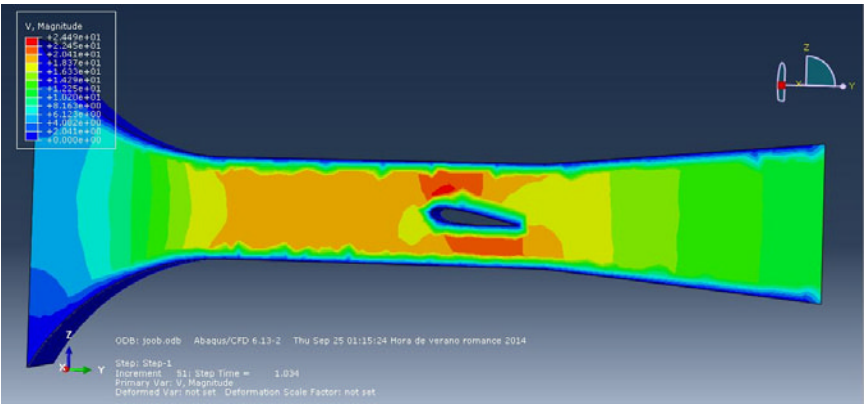
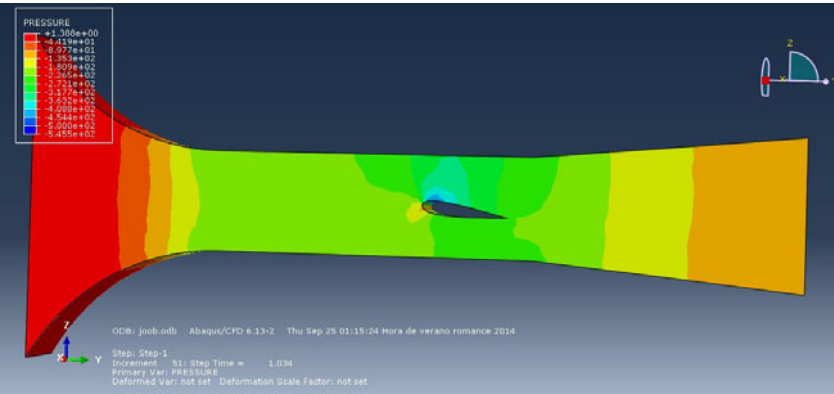
ESCALA N1



ESCALA N2



ESCALA N3



ESCALA N4

